

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф. МОРОЗОВА»

Институт цифровых и интеллектуальных систем

Факультет компьютерных наук и технологий

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
И ТЕХНОЛОГИЙ – 2026

Материалы Международной научно-практической конференции,
посвященной 5-летию Факультета компьютерных наук и технологий

Воронеж, 30 марта 2026 г.

Воронеж 2026

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION
OF HIGHER EDUCATION
«VORONEZH STATE UNIVERSITY OF FORESTRY AND TECHNOLOGIES
NAMED AFTER G.F. MOROZOV»

Institute of Digital and Intelligent Systems

Faculty of Computer Science and Technology

MODELING INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES – 2026

Proceedings of the International Scientific and Practical Conference
dedicated to the 5th anniversary of the Faculty of Computer Science and Technology

Voronezh, March 30, 2026

Voronezh 2026

М74 Моделирование информационных систем и технологий – 2026 : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 5-летию Факультета компьютерных наук и технологий, Воронеж, 30 марта 2026 г. / отв. ред. В. К. Зольников, А. И. Заревич ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛУ». – Воронеж, 2026. – 1433 с. – URL: <https://vglu.ru/nauka/konferencii/2026/mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-posvyawennaya-5-letiyu-fakulteta-kompyuternyh-nauk-i-tehnologij/>. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7994-1241-8

В сборнике представлены материалы Международной научно-практической конференции, проведенной Воронежским государственным лесотехническим университетом 30 марта февраля 2026 г., разбитые на секции: «Системный анализ, управление, обработка информации»; «Системы автоматизации проектирования»; «Современная электронная компонентная база»; «Беспилотные летательные аппараты и роботизированные системы». Целью конференции является ознакомление с результатами новейших научных достижений, обмен знаниями и передовым опытом в области моделирования информационных систем и процессов, привлечение наиболее способных студентов к выполнению научных исследований.

Материалы конференции предназначены для широкого круга специалистов промышленности и образования, научных работников, аспирантов и студентов высших учебных заведений, специализирующихся в вопросах информатизации, моделирования систем и процессов, автоматизированного проектирования.

УДК 004

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Драпалюк Михаил Валентинович, ректор ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», д.т.н., профессор.

Куцько Павел Павлович, Генеральный директор АО «НИИЭТ», к.т.н.

Морковина Светлана Сергеевна, проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», д.т.н., профессор.

Зольников Владимир Константинович, директор Института цифровых и интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», д.т.н., профессор.

Скворцова Татьяна Владимировна, декан факультета компьютерных наук и технологий, к.т.н., доцент.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Кравченко Андрей Сергеевич, заведующий кафедрой вычислительной техники и информационных систем ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», к.т.н., доцент.

Аникеев Евгений Александрович, заведующий кафедрой компьютерных технологий и микроэлектронной инженерии ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», к.т.н., доцент.

Ягодкин Александр Сергеевич, заведующий кафедрой информационных технологий ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», к.ф.-м.н., доцент.

Заревич Антон Иванович, доцент базовой кафедры технического и программного обеспечения вычислительных и информационных систем ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», к.т.н.

Смерек Владимир Андреевич, начальник отдела проектирования СБИС АО «НИИЭТ», к.т.н.

Макаренко Филипп Владимирович, доцент базовой кафедры технического и программного обеспечения вычислительных и информационных систем, к.ф.-м.н.

Потапов Игорь Петрович, главный научный сотрудник отдела проектирования СБИС АО «НИИЭТ», к.т.н.

Зольников Константин Владимирович, ведущий инженер отдела проектирования СБИС АО «НИИЭТ», д.ф.-м.н.

Таперо Константин Иванович, заместитель генерального директора по науке и инновациям АО «НИИП», д.т.н.

Бойко Владимир Иванович, заместитель генерального директора по развитию АО «ВЗПП-сборка», к.т.н.

РЕЦЕНЗЕНТЫ

Смерек Владимир Андреевич – к.т.н., начальник дизайн-центра проектирования ИМС АО «Научно-исследовательский институт электронной техники».

Потапов Игорь Петрович – к.т.н., главный научный сотрудник АО «Научно-исследовательский институт электронной техники».

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Алфимов А.В., Авилова О.А., Тен Р.В. Формализация и модель представления результатов моделирования для задач параметрической верификации.....	21
Алексеев В.Р., Березина Т.И., Богданов Д.С. Моделирование влияния человеческого фактора на отказоустойчивость информационных систем.....	30
Алексеев В.Р., Бучнев С.О., Гетманцев Д.Д. Моделирование деградации информационных систем при длительном отсутствии обновлений безопасности.....	39
Алексеев В.Р., Гетманцев Д.Д., Карлов С.Е. Моделирование устойчивости распределённых информационных систем при частичной потере узлов	46
Алексеев В.Р., Зольников К.В., Скворцова Т.В. Имитационное моделирование поведенческих аномалий пользователей в корпоративных ИС	54
Алексеев В.Р., Ягодкина И.Е., Татаренков Е.А. Математическое моделирование конфликтов версий данных в распределённых системах хранения	60
Афанасова Я.А., Акименко А.В. Фитнес-игры как мотиватор активного образа жизни	68
Ачкасов Д.А. Сравнение алгоритмов оптимизации в нестационарных задачах	75
Боярчук А.А., Авилова О.А., Зольников К.В. Совершенны ли нормальные формы СДНФ и СКНФ? Алгебраический «паспорт» логической функции.....	81
Буздин В.Э., Бхуйа М., Реин Ю., Шова Р.Ш. Разработка и применение микросервисной архитектуры в корпоративных системах.....	87
Буздин В.Э., Бхуйа М., Реин Ю., Шова Р.Ш. Сравнение нейронных подходов и традиционных методов по точности прогнозирования.....	95
Буздин В.Э., Аникеев Е.А., Лозовский М.И. Оптимальное управление ресурсами в микросервисной архитектуре	103

Волкова С.Н., Орлова Д.Е. Архитектура нулевого доверия: трансформация парадигмы информационной безопасности и её адаптация к российской нормативно-технической среде	111
Головин В.А., Кандауров И.А., Алексеев В.Р. Модели деградации производительности виртуализированных систем при ресурсных конфликтах	118
Головин В.А., Кандауров И.А., Алексеев В.Р. Модели устойчивости операционных систем к редким состояниям гонки	124
Головин В.А., Кандауров И.А., Алексеев В.Р. Стохастические модели поведения контейнеризированных приложений.....	130
Головин В.А., Кандауров И.А., Гетманцев Д.Д. Моделирование каскадных задержек в распределённых вычислениях	135
Головин В.А., Кандауров И.А., Лозовский М.И. Моделирование вычислительной неопределённости в гетерогенных облачных средах	140
Дубровин А.С., Сумин В.И., Кравченко А.С. Перспективные методы анализа и обработки информации в рамках классических далекодействующих моделей в сложной нелинейной физике	146
Ерохина К.Ю., Тюнина А.М. Системно-динамическая модель для оптимизации и анализа распределения учебной нагрузки кафедры в условиях неопределенности.....	155
Жукова Е.А., Анциферова В.И. Сравнительный анализ современных моделей прогнозирования банкротства компаний.....	161
Жукова Е.А., Анциферова В.И., Солодова М.С. Ограничения применения больших языковых моделей к табличным финансовым данным.....	166
Занин И.Н., Аникеев Е.А., Авилов Ю.О. Разработка ансамблевого алгоритма оценки будущей академической успеваемости абитуриента на основе психометрических данных	172
Ивенский Д.А., Семенько Е.О. MAC-адрес как аппаратный идентификатор	181
Ивенский Д.А., Семенько Е.О., Бутов А.Ю. Интерфейс RS-232	188
Ивенский Д.А., Семенько Е.О., Аксенова Я.В. Протокол IPV4 как основа адресации в глобальной сети.....	196

Ивенский Д.А., Семенько Е.О., Аксенова Я.В. Протокол IPv6 как основа функционирования современных компьютерных сетей	203
Ивенский Д.А., Семенько Е.О. Протоколы HTTP и HTTPS	210
Кандауров И.А., Головин В.А., Алексеев В.Р. Моделирование вычислительной неопределённости в гетерогенных облачных средах	218
Кандауров И.А., Головин В.А., Алексеев В.Р. Формальные модели эмерджентного поведения программных комплексов	225
Кандауров И.А., Головин В.А., Гетманцев Д.Д. Моделирование вычислительных экосистем с переменной архитектурой	231
Кандауров И.А., Головин В.А., Лозовский М.И. Модели самоорганизации процессов в высоконагруженных системах.....	237
Кандауров И.А., Головин В.А., Ягодкин А.С. Моделирование аномальных состояний памяти в многопоточных приложениях	243
Карташов А.О. Роль различных моделей данных в способах управления объектами современных СУБД.....	250
Кондусова В.В., Кутковая В.Я. Модель оценки «цифрового следа» читателя для персонализации в образовательно-игровой среде	255
Кондусова В.В., Тюнина А.М., Кукуева Д.С. Моделирование, разработка и комплексная оценка эффективности информационной системы «ФКНИТ читает»: от системного анализа до внедрения	262
Кондусова В.В., Тюнина А.М., Кукуева Д.С. Применение гибридных нейросетевых моделей для прогнозирования отказов в распределенных технических системах	268
Коротков М.А., Горюнов В.А., Сазонова С.А., Дронов Д.И. Математический анализ и интерпретация результатов работы по формированию навыков предотвращения травматизма у обучающихся образовательной организации.....	275
Кравченко А.С. О применении методов системного анализа в проектировании и разработке безопасного программного обеспечения	282
Кудинов И.М. Роль рекомендательных систем в электронной коммерции.....	290
Кудинов И.М. Современные методы построения персонализированных рекомендательных систем	297

Кукуева Д.С., Тюнина А.М., Кондусова В.В. Анализ временных метрик в процессах согласования документов: выявление «узких мест» на основе Process Mining	305
Кукуева Д.С., Тюнина А.М., Кондусова В.В. Как правильно сегментировать пользователей: сравниваем алгоритмы кластеризации для бизнес-задач.....	309
Куликов И.А., Седых Д.А., Дудник С.П., Вытовтов П.Д. Системный анализ в управлении: как принимать решения в сложных системах	315
Кущева И.С., Хухрянская Е.С. Использование деловых отходов в проектировании плотной укладки	327
Леонов В.М., Сахаров С.Л. Логистическая модель прогнозирования сахарного диабета.....	332
Луцко Д.П., Лозовский М.И. Разработка алгоритмического подхода к прогнозированию спроса в розничной торговле в информационной системе.....	340
Луцко Д.П., Буздин В.Э., Авдеев К.А. Информационные системы поддержки принятия решений в розничной торговле на основе анализа данных	347
Люков А.А., Тюнина А.М. Алгоритм интеллектуального прогнозирования офисных расходов на основе анализа поведения сотрудников и внешних факторов.....	354
Матвийчук Б.С., Седых Д.А., Дудник С.П., Вытовтов П.Д. Перспективы развития систем прогнозирования обрывов бумажного полотна на основе методов машинного обучения.....	359
Мерзляков Н.В., Семкин А.А., Матвийчук Б.С., Седых Д.А., Дудник С.П., Вытовтов П.Д. Инфраструктурный уровень оптимизации инференса нейронных сетей: платформы обслуживания моделей и распределенные вычисления.....	367
Мишушина Е.О., Бенамри И., Аботчие Дж.В. Разработка алгоритмов сжатия данных с регулируемыми потерями для систем интернета вещей	377
Новикова Т.П., Евдокимова С.А., Авилов Ю.О. Технология функционирования и алгоритмы рекомендательных систем	388

Новикова Т.П., Теппоев А.В., Новиков А.И. Модели распознавания образов как теоретическая основа систем технического зрения в автоматизированном управлении	393
Оксюта О.В., Лысенко В.И. Проектирование расчета показателей просрочек в DWH банка по методике FIFO	399
Оксюта О.В., Чепелев И.В. Анализ источников виброакустической энергии автогрейдеров и определение способа снижения вибрации кабины при различных режимах работы	406
Оксюта О.В., Чепелев И.В. Исследование методов снижения вибрации и шума в кабинах транспортно-технологических машин	412
Опара М.В., Врагов С.А., Буренкина К.А., Опара М.А. Аспекты международного законодательства в области информационной безопасности	418
Павлов Е.С. Предсказание поломки по шуму данных: как Data Mining и ML создают модели отказов в IT-инфраструктуре.....	424
Парамонов А.Г., Оксюта О.В. Интеграция разнородных данных для статистического арбитража на рынке криптовалют с применением методов машинного обучения.....	432
Покачалов Н.И., Авилова О.А., Бучнев С.О. Применение теории графов для анализа социальных связей: как математика помогает понять сообщества	438
Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В., Заревич М.А. Моделирование как философская и методологическая основа искусственного интеллекта.....	443
Полуэктов А.В., Силонов В.И., Макаренко Ф.В. Мультиязыковые экосистемы ML-библиотек в мультиязыковой разработке: проблемы и возможности для C#.....	454
Полуэктов А.В., Сухарский А.В., Макаренко Ф.В. Аппроксимация экспериментальных данных с помощью языка C#	461
Пташник Р.О., Анциферова В.И., Чиркин Н.А. Оптимизация метода Виолы-Джонса для детекции лиц с использованием предобработки изображений.....	470

Сафонова И.В., Лавренко В.А. Использование системного анализа для комплексной оценки степени развитости цифровой инфраструктуры региона	479
Сильнов С.Д., Оксюта О.В. Интеллектуальные алгоритмы динамического ценообразования в условиях высококонкурентной среды дроппинг-маркета.....	484
Сильнов С.Д., Оксюта О.В. Использование распределённых облачных баз данных NoSQL для обеспечения отказоустойчивости глобальных e-commerce платформ	491
Скворцова Т.В., Брайко А.К., Авилова О.А. Исследование методов корреляции событий мониторинга и разработка системы обнаружения инцидентов в гетерогенной ИТ-инфраструктуре	496
Скворцова Т.В., Пискурский П.А., Авилова О.А. Дальнейшее развитие онлайн-платформы для подготовки к Всероссийской проверочной работе (ВПР)	502
Скворцова Т.В., Пискурский П.А., Авилова О.А. Онлайн-платформа для подготовки студентов СПО к Всероссийской проверочной работе (ВПР) с использованием обучающей ИИ модели	511
Спесивцев Г.А. Вероятностное обоснование метода наименьших квадратов через принцип максимального правдоподобия.....	530
Стрюкова А.С. Интеграция системного анализа и моделирования бизнес-процессов как основа эффективных преобразований	540
Тарлыков С.С., Тюнина А.М. Моделирование потока уязвимостей в жизненном цикле it-активов вуза на основе подхода Cyber Threat Intelligence	549
Трепалин А.А. Искусственный интеллект как инструмент оптимизации NoSQL и SQL баз данных	554
Тюнина А.М. Модель оценки угроз для информационных ресурсов вуза на основе анализа потоков данных в образовательном процессе.....	560
Ушаков Д.В. Исследование проблемы дисбаланса классов при анализе полезности пользовательских отзывов в системах цифровой дистрибуции.....	570

Ушаков Д.В. Сравнительный анализ эффективности ансамблевых методов и нейронных сетей в задаче классификации полезности рецензий	580
Чередникова О.Н., Тюнина А.М. Сравнительный анализ методов моделирования информационных систем и их применимость на различных этапах жизненного цикла информационных систем	588
Осипов М.А., Чечукова К.О., Авилова О.А. Разработка web-ориентированной информационной системы поддержки принятия решений	595
Хуссейн М., Аникеев Е.А. Кибербезопасность в эпоху цифровой трансформации	602
Шпинева А.В., Тюнина А.М. Моделирование цифровых двойников киберфизических систем с применением нейросетевых алгоритмов прогнозирования состояния	609

СЕКЦИЯ 2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Авилов Ю.О., Аникеев Е.А., Занин И.Н. Программа «Зелёный щит» как ИТ-решение для мониторинга состояния лесов	616
Авилов Ю.О., Аникеев Е.А., Занин И.Н. Тёмная сторона Алисы	627
Авилова О.А., Ягодкин А.С., Кладов А.В. Применение машинного обучения для прогнозирования повторных обращений и предотвращения повторных выездов в телеком-сервисе	638
Аникеев Е.А., Акименко А.В. Сравнительный анализ современных библиотек и фреймворков машинного обучения.....	646
Аникеев Е.А., Акименко А.В., Авилов Ю.О. Стандарты искусственного интеллекта в автомобильном транспорте	651
Аникеев Е.А., Акименко А.В., Занин И.Н. Современные подходы к построению информационных систем управления автотранспортным предприятием	655
Астанина Д.А., Анциферова В.И., Корешков Д.С. Анализ систем учета производства детского питания в частных образовательных организациях на базе платформы 1С	660
Астанина Д.А., Анциферова В.И., Солодова М.С. Особенности и проблемы организации и учета детского питания	667

Астапенко К.В. Разработка и внедрение информационной системы автоматизации учета и управления для автозаправочной станции	675
Бизеев Д.А., Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Акамсина Н.В. Исследование основных аспектов автоматизированных информационных систем.....	682
Бизеев Д.А., Сазонова С.А., Мозговой Н.В., Асминин В.Ф. Исследование современных информационных систем и баз данных.....	689
Бордюжа Е.О., Заревич А.И. Автоматизация обработки входящих бизнес-документов: анализ применимости регулярных выражений и контекстной логики вместо машинного обучения	698
Бордюжа Е.О. Практическая реализация системы автоматической обработки заявок и накладных на примере компании ООО «Офисмаг»: выявление эффективности изученных методов	706
Бордюжа О.Л. Информационная система для автоматизации работы с данными в образовательном процессе.....	713
Буздин В.Э., Аникеев Е.А., Лозовский М.И. Моделирование CI/CD и оптимизация времени релиза	718
Врагов В.С. Использование нейросетей в современном образовании: возможности, риски и перспективы развития	726
Врагов С.А., Ступниченко М.С. Трансформация пассивного осмотра в интерактивный квест: проектирование игровой экосистемы музея на основе гибридной платформы	733
Гидулян А.В., Сахаров С.Л. Методика проектирования интеллектуальной системы прогнозирования аварийности на основе алгоритмов градиентного бустинга.....	739
Глотова А.Ю., Сухарский А.В., Силонов В.И. Моделирование сетевого трафика: сравнительная оценка методов	746
Гнатенко Д.И. Проблема выбора и адаптации CRM-систем для малых агентств недвижимости: анализ и подход к разработке отраслевого решения.....	754
Голова Е.А., Анциферова В.И., Мазуров А.А., Ягодкин А.С. Концепция цифрового двойника лесного участка: от сбора IoT-данных к когнитивным моделям для управления ресурсами.....	762

Дручинин С.Ю. Анализ научных источников на тему «Разработка приложения для вызова скорой медицинской помощи».....	771
Дручинин С.Ю. Проектирование пользовательского интерфейса мобильного приложения для взаимодействия с системой скорой медицинской помощи	778
Занин И.Н., Авилов Ю.О., Заленская Н.Ю. Анализ архитектурных моделей интеграции искусственного интеллекта, интернета вещей и технологий больших данных в современных информационных системах	783
Злобин Е.А., Кравченко А.С. Контент-базирующая и коллаборативная фильтрации как методы построения персональных рекомендательных систем	793
Зольников В.К., Иванов В.К., Авилова О.А. Перспективы развития интеллектуальной системы адаптивного интервального повторения для подготовки студентов к экзаменам.....	802
Ерохина К.Ю., Тюнина А.М. Подход к автоматизации проектирования учебных планов на основе онтологической модели.....	807
Ильин Е.С. Сравнение подходов к обучению моделей на неструктурированных данных	813
Кириллов Н.Д. Обзор офисного пакета для обработки цифровых документов «Яндекс Документы»	824
Кондусова В.В. Алгоритмы управления контентом и рекомендательные системы в распределенной библиотечной платформе с элементами геймификации	832
Кондусова В.В., Тюнина А.М., Кукуева Д.С. Модель оценки вовлеченности пользователей в информационную систему на основе анализа поведенческих метрик и алгоритмов геймификации.....	840
Косых В.Д. Имитация нагрузки на сайт вуза в день приказа о зачислении	846
Косых В.Д. Имитационная модель работы отдела возвратов крупного интернет-магазина.....	851
Косых В.Д. Имитационная модель работы службы доставки еды для определения оптимального количества курьеров в разные часы суток	857

Косых В.Д. Разработка ИС для оптимизации расписания работы диагностического оборудования и персонала в поликлинике	862
Кочегаров А.В., Звягина Л.Н., Семёнов П.О. Искусственный интеллект и его влияние на экологию: возможности, риски и перспективы устойчивого развития	869
Кравцов В.С. Безопасность персональных данных в мобильных приложениях	876
Кравцов В.С. Голосовые интерфейсы в мобильных приложениях для пожилых пользователей	883
Красиков Р.А., Авилова О.А., Нетесова С.В. Методы оптимизации SQL-запросов в высоконагруженных приложениях: практические рекомендации.....	892
Красиков Р.А., Авилова О.А., Самушенок Р.В. Современные проблемы оптимизации запросов к базам данных.....	897
Кукуева Д.С., Тюнина А.М. Архитектура и прототип «Low-Code» конструктора правил эскалации для процессов согласования	903
Кукуева Д.С., Тюнина А.М., Кондусова В.В. DSL подход к проектированию и валидации маршрутов согласования документов в распределенной системе	909
Курьянов А.С. In silico моделирование систем: от молекулярных взаимодействий до промышленных биопроцессов	914
Литвинов А.И., Будовская Г.И. Разработка сервиса авторизации на FastAPI с использованием JWT.....	925
Лучников В.С., Юдина Н.Ю. Использование мультиспектральных и гиперспектральных данных для повышения точности распознавания объектов на спутниковых изображениях	932
Лучников В.С., Юдина Н.Ю. Особенности распознавания объектов на спутниковых изображениях	939
Люков А.А., Тюнина А.М. Конфигуратор цифровых двойников офисного склада для симуляции логистических процессов в системе автоматизации заказов.....	945

Мальцев В.В. Гибридная нейросетевая архитектура с двухуровневой системой внимания для анализа цифрового следа в системах класса UEBA	951
Мальцев В.В., Будовская Г.И. Сравнительный анализ источников цифрового следа для систем класса UEBA с количественной оценкой информативности и вычислительной стоимости.....	963
Мишушина Е.О., Заленская Н.Ю., Бенамри И., Аботчие Дж.В. Моделирование в медицине: как виртуальные технологии спасают реальные жизни	972
Надёнов А.Е., Авилова О.А., Скворцова Е.И. Перспективы развития интеллектуальной офлайн-системы обезличивания и шифрования персональных данных в документах	979
Назарова А.К., Скворцова Е.И., Авилова О.А. Разработка распределенной информационной системы для анализа пищевых привычек и формирования персональных рекомендаций по питанию на основе технологии ИИ.....	986
Наумов А.А., Авилова О.А., Ягодкин А.С., Головин В.А. Современные подходы к тестированию программного обеспечения в условиях непрерывной доставки	993
Новиков А.И., Новикова Т.П., Ребко С.В., Богомоллов А.А., Кокорева С.В. Об автоматизированной системе мониторинга состояния и продуктивности сортовых средозащитных культур на основе мультиспектральных спутниковых данных среднего разрешения	997
Новикова Т.П., Богомоллов А.А., Кокорева С.В., Новиков А.И. Оптическое детектирование семян: применение PROC GLM для статистического анализа данных в оценке эффективности автоматизированного сортирования	1005
Палаткин В.Н., Заревич А.И. Технологические аспекты и перспективы внедрения IoT-сетей для точного земледелия.....	1012
Переславцев К.В., Анциферова В.И., Пташник Р.О. Моделирование процесса генерации товарных знаков с применением нейронных сетей	1025
Переславцев К.В., Анциферова В.И., Чиркин Н.А. Сравнительный анализ состязательных и диффузионных моделей для генерации изображений.....	1031
Перов С.И., Букреев Д.Е., Корешков Д.С. Моделирование информационной системы чат-бота поддержки студентов	1036

Перов С.И., Сахаров А.А. Моделирование модуля интеллектуального планирования ресурсов в ИС фитнес клуба	1043
Полуэктов А.В., Зольников К.В., Ачкасов А.В. Системы автоматизации проектирования.....	1050
Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В. Сравнительный анализ программ моделирования AnyLogic 8 и AnyDynamics 8 при моделировании физических процессов.....	1057
Проненко И.В. Использование технологий компьютерного зрения и NLP для интеллектуальной обработки документов в системах электронного документооборота	1068
Проненко И.В., Семкин А.А. Оценка эффективности внедрения интеллектуальной автоматизации в бизнес-процессы: методика измерения экономического эффекта и производительности.....	1074
Рудова А.В., Коньякова А.С., Коломойцева З.В., Ходырева В.С. Сравнение реляционных и графовых баз данных для моделирования сложных взаимосвязей в социальных сетях	1080
Рыжих А.М. Методология построения информационной модели технологического производства этилена на основе DFD-анализа и системной декомпозиции.....	1084
Сербин С.Д., Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Акамсина Н.В. Исследование программного обеспечения «Автоматизированное рабочее место отдел кадров»	1095
Сербин С.Д., Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Горюнов В.А. Характеристика объекта исследования для разработки информационной системы «Автоматизированное рабочее место сотрудника отдела кадров банка».....	1102
Ситников А.А. Обзор системы защиты информации Secret Net Studio: архитектура и функциональные особенности.....	1110
Ситников А.А. Обзор средства защиты информации от несанкционированного доступа «Блокхост-Сеть 3»	1116
Скворцова Е.И., Ягодкин А.С., Зольников В.К. Геометрия, профили и механизация крыла самолета	1123

Скворцова Е.И., Ягодкин А.С., Зольников В.К. Обеспечение надежности подачи топлива современных самолетов	1130
Скворцова Т.В., Пешкова Е.Г., Авилова О.А. Разработка обучающей программы для студентов СПО по дисциплине «Алгебра логики»	1136
Слепченко В.Ю., Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Володкин Д.А. Исследование информационной системы управления диспетчерскими заявками предприятия теплоэнергетического комплекса	1143
Слепченко В.Ю., Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Володкин Д.А. Предпроектное обследование функционирования диспетчерской службы предприятия теплоэнергетического комплекса	1152
Спиридонов М.С., Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Горюнов В.А. Исследование современных аналогов для разработки информационной системы управления документооборотом предприятия «Автобаза почты»	1162
Спиридонов М.С., Сазонова С.А., Лемешкин А.В., Дронов Д.И. Характеристика объекта исследования для разработки информационной системы управления документооборотом предприятия "Автобаза почты"	1171
Стрюкова А.С., Полуэктов А.В. Моделирование в автомобильной промышленности: от виртуальных испытаний до цифровых двойников как ключевой инструмент снижения затрат и ускорения инноваций	1179
Сумин В.И., Дубровин А.С., Кравченко А.С. Системный подход управления запасами организации при производстве электроники	1187
Сумина Ю.Е. Анализ методов и современных информационных решений оценки кредитоспособности заемщиков	1192
Сыноров С.О., Заревич А.И. Lotsia PDM PLUS в АО «ГСП Инжиниринг»: вызовы эксплуатации устаревшей информационной системы в современной проектной среде.....	1199
Сыноров С.О. Концепция поэтапной модернизации информационной системы класса PDM на примере Lotsia PDM PLUS в АО «ГСП Инжиниринг»	1206
Тарлыков С.С., Тюнина А.М. Low code среда для проектирования и тестирования политик безопасности в конвейере поставки инфраструктуры «Как Код» (IaC).....	1212

Тарлыков С.С., Тюнина А.М. Автоматизация верификации аналого-цифровых трактов систем на кристалле с использованием UVM-методологии	1219
Тарлыков С.С., Тюнина А.М. Интеграция AI-помощников в EDA-инструменты для ускорения топологического проектирования СБИС	1228
Томилов А.Е. Моделирование энергопотребления здания	1233
Тюнина А.М. Инструментарий для моделирования угроз информационной безопасности в распределенной среде вуза	1242
Черных Ю.В., Авилова О.А., Нетесова С.В. Рекомендательные системы, прогнозирование и NLP: концепции и применение в проекте реализации сайта подбора гаджетов	1246
Чистяков А.Р., Авилова О.А., Нетесова С.В. Перспективы развития информационной системы для коллективного обмена учебными материалами в студенческой среде.....	1255
Шпинева А.В., Тюнина А.М. Моделирование отказоустойчивости информационных систем с применением графов и машинного обучения	1259
Шульгина А.Н., Оксюта О.В., Кущева И.С. Технологии управления данными в режиме реального времени.....	1266

СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

Алфимов А.В., Авилова О.А., Ягодкина И.Е., Будовская Г.И. Разработка информационной системы определения рабочих характеристик электронных компонентов.....	1271
Бычук Л.С., Авилова О. А., Ягодкин А.С. Разработка системы анализа надёжности логического комбинационного устройства	1276
Дроздов Д.С., Авилова О.А., Охрименко Д.М. Разработка и анализ систем для прогнозируемого мониторинга микроэлектронных компонентов.....	1280
Лемза С.А., Денисова О.А., Смерек В.А. Методы формирования энергоэффективных признаков описаний акустико-вибрационных сигналов на базе аппаратной предобработки в системах миниатюрного машинного обучения	1283

Лемза С.А., Бутов А.Ю. Обзор современных методов энергоэффективного машинного обучения для встраиваемых систем обработки акустических сигналов.....	1294
Коваль А.А., Авилова О.А., Ягодкин А.С. Адаптация автоматизированной системы контроля качества микросхем к различным типам производственных линий.....	1302
Коваль А.А., Авилова О.А., Гетманцев Д.Д. Разработка автоматизированной системы контроля качества микросхем на производственной линии	1308
Перов С.И., Денисова О.А., Смерек В.А. Развитие технологий 5G и их влияние на цифровую инфраструктуру	1318
Потапов А.Н., Шпинев А.В., Ситников А.С. Существующие виды излучений, воздействующих на электронное оборудование в условиях космоса	1324
Симоненко А.А., Попов М.В., Ягодкин А.С. Сравнение микросхем МАХ31865АТР и МАХ31855.....	1330
Скворцова Е.И., Ягодкин А.С., Зольников В.К. Бортовые радиоэлектронные приборы	1340
Скворцова Е.И., Ягодкин А.С., Зольников В.К. Внезапные и параметрические отказы в микроэлектронных компонентах: механизмы, классификация и методы обеспечения надёжности	1348
Скворцова Е.И., Ягодкин А.С., Зольников В.К. Законы распределения времени до отказа элементов.....	1356
Талиманчук В.А., Авилова О.А., Луцко Д.П. Повышение эффективности автоматизированного контроля качества микросхем.....	1363
Тарлыков С.С., Тюнина А.М. Методология сквозного проектирования Radiation-Hardened микросхем с применением специализированных PDK и моделей.....	1370

СЕКЦИЯ 4. БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Врагов С.А., Фролов С.В. Особенности построения маршрутов БПЛА в условиях недостаточности сигналов глобальных навигационных спутниковых систем	1375

Евчук И.Р., Заревич А.И. Гибридная архитектура кооперативной навигации мобильных роботов с формальными гарантиями безопасности	1383
Евчук И.Р., Заревич М.А. Эволюционная настройка гиперпараметров гибридного алгоритма навигации для адаптации группы роботов к типу среды.....	1393
Журавлева О.А., Акименко А.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в борьбе с лесными пожарами	1403
Кондусова В.В., Тюнина А.М., Кукуева Д.С. Цифровые двойники как инструмент повышения надежности промышленных объектов	1409
Мазуров А.А., Авилова О.А., Голова Е.А., Анциферова В.И. Система управления БПЛА на основе компьютерного зрения с возможностью принятия решения	1415
Шхагор Мд Шхаханур Ислам, Заревич А.И., Заревич М.А. Акустическая локализация для децентрализованных роев беспилотных летательных аппаратов в условиях отсутствия GPS	1425

СЕКЦИЯ 1
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ,
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

DOI: 10.58168/MIST2026_21-29

УДК 004.052.42

ФОРМАЛИЗАЦИЯ И МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
ВЕРИФИКАЦИИ

А.В. Алфимов¹, О.А. Авилова¹, Р.В. Тен¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается формализация и структурирование результатов моделирования электронных компонентов для задач параметрической верификации в составе информационной системы. Актуальность исследования определяется необходимостью унифицированного представления расчётных данных, обеспечивающего автоматизированное сопоставление параметров компонентов с заданными требованиями проекта и повышение воспроизводимости инженерного анализа. Предлагаемая модель включает структурирование данных по компонентам, режимам моделирования, извлечённым характеристикам и критериям допустимости, что позволяет минимизировать ручную обработку результатов симуляции и упрощает формирование отчётной документации. Практическая значимость подхода заключается в возможности интеграции с существующими CAD- и EDA-средами без изменения используемых инструментов моделирования.

Ключевые слова: структурированное представление данных, информационная система, электронные компоненты, моделирование и симуляция, параметрическая верификация.

FORMALIZATION AND DATA REPRESENTATION MODEL
OF SIMULATION RESULTS FOR PARAMETRIC VERIFICATION TASKS

A.V. Alfimov¹, O.A. Avilova¹, R.V. Ten¹

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper addresses the formalization and structuring of simulation results of electronic components for parametric verification tasks within an information system. The relevance of the research is determined by the need for a unified representation of computational data, enabling automated comparison of component parameters with project requirements and enhancing the reproducibility of engineering analysis. The proposed model organizes data by components, simulation modes, extracted characteristics, and acceptance criteria, reducing manual processing of simulation results and simplifying the generation of structured reports. The practical significance of the approach lies in its ability to integrate with existing CAD and EDA tools without modifying the modeling environment.

Keywords: structured data representation, information system, electronic components, simulation and modeling, parametric verification.

Практическая реализация процедур параметрической верификации предполагает наличие формализованной модели результатов моделирования, обеспечивающей однозначную интерпретацию извлечённых характеристик, их привязку к режимам анализа и условиям проведения расчётов. В типовых форматах вывода симуляторов данные представлены преимущественно в виде массивов временных зависимостей или табличных значений, что затрудняет их использование в автоматизированных процедурах проверки соответствия.

В этой связи возникает задача разработки структурной модели представления результатов моделирования электронных компонентов, ориентированной на задачи параметрической верификации. Эта модель должна обеспечивать систематизацию параметров, фиксацию условий их определения и возможность формализованного сопоставления с заданными критериями допустимости.

Важным этапом разработки является формализация и структурирование результатов моделирования электронных компонентов в составе информационной системы параметрической верификации, обеспечивающие повышение воспроизводимости анализа и снижение трудоёмкости обработки расчётных данных.

Результаты схемотехнического и временного моделирования электронных компонентов представляют собой совокупность числовых данных, полученных в процессе расчёта поведения модели в заданных условиях. В зависимости от типа анализа такие данные могут включать временные зависимости напряжений и токов, табличные значения установившихся параметров, спектральные характеристики, переходные процессы, а также вспомогательную информацию о режимах расчёта.

В типовых CAD- и EDA-средах результаты моделирования формируются в виде файлов, содержащих массивы дискретизированных значений физических

величин. Наиболее распространённым способом представления является табличная форма, где каждому моменту времени или значению независимой переменной соответствует набор вычисленных параметров. При этом структура выходных данных определяется внутренней логикой конкретного симулятора и ориентирована преимущественно на визуальный анализ в графических средствах постобработки.

Но тут есть одна загвоздка. Сами по себе эти результаты – просто набор чисел. В них нет никакой смысловой группировки, не видно, какой параметр для чего нужен. А для инженерной оценки важно не просто получить цифры, но и понимать, с чем их сравнивать, в каких условиях они получены, что считается нормой, а что – отклонением. Вся эта информация обычно остаётся за пределами файла с результатами, живёт в голове инженера или в документах.

Когда мы занимаемся параметрической верификацией (то есть проверкой, укладываются ли характеристики в допуски), то нам нужно не просто какое-то число, а структура. Верификация – это всегда сравнение: взяли параметр, который получили в конкретных условиях, и сверили с разрешённым диапазоном. Значит, результат моделирования нельзя рассматривать как изолированный массив данных. Он должен быть частью более широкой картины: где проводили расчёт, что именно извлекали, при каких условиях.

Если нет чёткой, формализованной структуры, то приходится вручную выковыривать параметры из графиков и таблиц. Это лишняя работа, плюс страдает воспроизводимость – потом трудно понять, как и что получали. И ещё одна проблема: когда хочешь использовать эти результаты в другом проекте или сравнить разные компоненты, возникает вопрос – а что, собственно, означают эти исходные данные? Их можно трактовать по-разному.

Вот почему от простого файлового хранения результатов симуляции надо переходить к структурированной модели данных. Такой подход позволит автоматически проверять, соответствуют ли параметры заданным требованиям, и обрабатывать результаты дальше. Для этого нужно сначала разобраться, какая информация вообще появляется в процессе моделирования, и выделить из неё элементы, которые стоит формализовать.

Вопросы структурирования и формализации результатов численного моделирования остро рассматриваются при обработке инженерных данных и построению информационных систем сопровождения проектирования. Отмечается, что по мере увеличения объёма вычислительных экспериментов возрастает

роль унифицированных моделей представления данных, обеспечивающих их повторное использование и автоматизированную обработку.

Традиционное хранение результатов расчётов в виде текстовых файлов или специализированных бинарных форматов затрудняет их интеграцию в сторонние информационные системы. Такие форматы ориентированы преимущественно на внутренние механизмы конкретного программного комплекса и не предполагают семантического описания структуры содержащихся параметров. В результате интерпретация данных осуществляется на прикладном уровне и требует дополнительных преобразований.

Одним из распространённых направлений является преобразование результатов моделирования в промежуточные структурированные форматы (например, табличные реляционные структуры или иерархические представления), допускающие формализованный доступ к параметрам. При интеграции разнородных источников инженерных данных, возникает также необходимость выделения метаданных, описывающих условия проведения расчёта, идентификаторы моделей и характеристики используемых режимов анализа. Без включения контекстной информации числовые результаты теряют однозначность интерпретации.

В области автоматизированного проектирования электронных устройств также рассматриваются вопросы унификации представления данных моделирования. Отмечается, что результаты SPICE-подобных симуляторов содержат временные ряды, наборы параметрических зависимостей и служебные данные о конфигурации анализа. Однако структура этих данных ориентирована на визуализацию и не обеспечивает прямой поддержки процедур формального сопоставления вычисленных значений с нормативными требованиями.

Существующие подходы к структурированию инженерных данных можно условно разделить на три группы:

1. Форматы, ориентированные на хранение числовых результатов без явного описания семантики параметров.
2. Расширенные форматы с использованием метаданных, обеспечивающие контекстное описание расчётов.
3. Интеграционные модели, предназначенные для включения результатов моделирования в более широкие информационные системы управления проектированием.

Для задач параметрической верификации электронных компонентов наиболее существенным является переход от первого типа представления ко второму и третьему, поскольку процедура проверки соответствия требует однозначной идентификации параметра, режима его определения и сопоставления с заданным критерием допустимости.

Анализ существующих решений показывает, что несмотря на наличие общих подходов к структурированию инженерных данных, специализированные модели, ориентированные именно на параметрическую верификацию электронных компонентов, в явном виде практически не формализованы. Это определяет необходимость разработки адаптированной модели представления результатов моделирования, учитывающей специфику электронных компонентов и требований к их рабочим характеристикам.

Результаты моделирования электронных компонентов лучше не воспринимать как просто набор цифр. Это целая совокупность связанных между собой данных. Туда входят не только числовые значения характеристик, но и условия, при которых их получили. Чтобы потом можно было нормально провести параметрическую верификацию, нужно формализовать структуру этих данных. И сделать так, чтобы каждый вычисленный параметр был однозначно привязан к режиму анализа и к контексту расчёта.

Что может входить в такую структуру. Сведения о компоненте, описание использованной модели, параметры режима моделирования, извлечённые характеристики и критерии их оценки. В обычном файловом выводе симуляторов – просто массивы цифр. А здесь мы фиксируем логические связи между элементами результата.

Каждый параметр при таком подходе становится самостоятельной сущностью. Он определён в конкретных условиях моделирования. Это убирает неоднозначность – никто не будет гадать, что же на самом деле означают цифры. И мы можем корректно сопоставить вычисленные характеристики с установленными требованиями. Результат моделирования превращается в структурированную запись, которую потом можно обрабатывать автоматически.

Такая организация данных – хорошая основа для информационной системы. Только система будет ориентирована не на то, как выполнить расчёт, а на анализ и верификацию полученных характеристик.

Формализованное представление результатов позволяет сократить объём ручной обработки и снизить зависимость от того, кто и как интерпретирует цифры. Когда есть структурная модель, извлекать параметры из симуляционных

файлов и сравнивать их между разными компонентами в одинаковых режимах анализа становится гораздо проще.

Появляется возможность собрать упорядоченную базу характеристик, полученных в воспроизводимых условиях. Это особенно важно, когда подбираешь альтернативные компоненты и оцениваешь, подойдут ли они для конкретной схемотехнической конфигурации. Плюс стандартизированное хранение данных упрощает подготовку отчётности и позволяет проследить, почему были приняты те или иные инженерные решения.

Предложенный подход не требует переделывать или менять используемые средства моделирования. Его можно внедрить как отдельный уровень обработки данных, который встраивается в уже существующий процесс проектирования.

Список литературы

1. ГОСТ Р 55753-2013. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники. Требования к обеспечению и контролю качества. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 64 с.

2. Орлов А.И., Луценко Е.В. Анализ данных, информации и знаний в системной нечеткой интервальной математике. – Краснодар, 2022.

3. Луценко Е.В. Расчет и когнитивный кластерно-конструктивный анализ семантических ядер и антиядер топ-30 российских ученых в области кибернетики по данным РИНЦ // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 186. – С. 96-168.

4. Зыков С.В. Программные системы гетерогенной архитектуры. Разработка информационных систем для интернет-ориентированной платформы : учебное пособие. – Москва, 2022.

5. Дружинина О.В., Масина О.Н., Игонина Е.В. Применение методов искусственного интеллекта и когнитивных технологий в задачах моделирования динамических систем // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2022. – Т. 18, № 1. – С. 83-97.

6. Георгиев Д.Д. Использование алгоритма дифференциальной эволюции для параметрической идентификации объекта управления // ИТ. Наука. Креатив : материалы II Международного форума. В 5 т. – Омск, 2025. – С. 17-27.

7. Макаренко Ф.В., Зольников В.К., Заревич А.И. [и др.]. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса осязания // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
8. Makarenko Ph.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, no. 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.
9. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
10. Poluektov A., Skvortsova T., Anikeev E., Yagodkin A. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.
11. Zarevich A., Poluektov A., Sumina Yu., Makarenko Ph. Structural mechanics in forestry based on digital twin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHN.
12. Новикова Т.П., Бодин А.А., Заревич А.И. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77-80.
13. Зольников В.К., Сазонова С.А., Заревич А.И., Башун С.С. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27-40.
14. Макаренко Ф.В., Ягодкин А.С., Денисова О.А. [и др.]. Применение элементов отрицательной логики при построении энергоэффективного комбинационного устройства // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.
15. Шеховцов Д.В., Плотников А.М., Зольников К.В., Заревич А.И. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79-86.

References

1. GOST R 55753-2013. Comprehensive quality control system. The release of electronic technology. Requirements for quality assurance and control. Moscow : Standartinform, 2013. 64 p.
2. Orlov A.I., Lutsenko E.V. Analysis of data, information and knowledge in systemic fuzzy interval mathematics. – Krasnodar, 2022.
3. Lutsenko E.V. Calculation and cognitive cluster-constructive analysis of semantic kernels and antinuclei of the top 30 Russian scientists in the field of cybernetics according to the RSCI // Polythematic online electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University. – 2023. – No. 186. – pp. 96-168.
4. Zykov S.V. Software systems of heterogeneous architecture. Development of information systems for an Internet-oriented platform : a textbook. – Moscow, 2022.
5. Druzhinina O.V., Masina O.N., Igonina E.V. Application of artificial intelligence methods and cognitive technologies in dynamic systems modeling tasks // Modern information technologies and IT education. – 2022. – Vol. 18, No. 1. – pp. 83-97.
6. Georgiev D.D. Using the differential evolution algorithm for parametric identification of the control object // IT. Science. Creative : materials of the II International Forum. In 5 volumes – Omsk, 2025. – pp. 17-27.
7. Makarenko F.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the process of sensitization // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
8. Makarenko Ph.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, no. 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.
9. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
10. Poluektov A., Skvortsova T., Anikeev E., Yagodkin A. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.
11. Zarevich A., Poluektov A., Sumina Yu., Makarenko Ph. Structural mechanics in forestry based on digital twin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.

12. Novikova T.P., Bodin A.A., Zarevich A.I. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of a dental clinic // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. - 2023. – No. 3. – pp. 77-80.

13. Zolnikov V.K., Sazonova S.A., Zarevich A.I., Bashun S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18, No. 2. pp. 27-40.

14. Makarenko F.V., Yagodkin A.S., Denisova O.A. [and others]. Application of negative logic elements in the construction of an energy-efficient combination device // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

15. Shekhovtsov D.V., Plotnikov A.M., Zolnikov K.V., Zarevich A.I. Technology of RTL-model product description development in the development of CAD software and analytical complex // Modeling of systems and processes. - 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.Р. Алексеев¹, Т.И. Березина¹, Д.С. Богданов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Человеческий фактор остаётся основной причиной 74% инцидентов в информационных системах. В статье рассматриваются математические модели влияния человеческого фактора на отказоустойчивость: модель HCR (Human Cognitive Reliability), техники CREAM, FNcurves, а также стохастические модели человеческой ошибки. Анализируются сценарии фишинга, ошибок конфигурации, инсайдерских угроз и усталости операторов. Разработаны вероятностные модели MTBF с учётом человеческого фактора и оптимизационные стратегии повышения надёжности. Полученные результаты демонстрируют снижение числа инцидентов на 42% при внедрении рекомендованных мер.

Ключевые слова: человеческий фактор, отказоустойчивость, HCR, CREAM, FNcurves, когнитивная надёжность, инсайдерские угрозы.

MODELING THE IMPACT OF HUMAN FACTORS ON INFORMATION SYSTEMS RESILIENCE

V. R. Alekseev¹, T.I. Berezina¹, D.S. Bogdanov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The human factor remains the primary cause of 74% of incidents in information systems. The article examines mathematical models of human factor impact on resilience: HCR (Human Cognitive Reliability) model, CREAM techniques, FNcurves, and stochastic models of human error. Scenarios of phishing, configuration errors, insider threats, and operator fatigue are analyzed. Probabilistic MTBF models accounting for human factors and optimization strategies for reliability enhancement are developed. The results demonstrate a 42% reduction in incidents with implementation of recommended measures.

Keywords: human factor, resilience, HCR, CREAM, FNcurves, cognitive reliability, insider threats.

Введение

По данным Verizon DBIR 2025 года, человеческий фактор остаётся основной причиной 74% инцидентов в информационных системах, опережая технические сбои (18%) и уязвимости программного обеспечения (8%). Ошибки конфигурации составляют 27% случаев, фишинговые атаки - 22%, инсайдерские угрозы - 19%, умышленные действия сотрудников - 6%. Среднее время обнаружения инцидента, вызванного человеческим фактором, достигает 87 дней, что в 3.2 раза превышает технические сбои.

Современные информационные системы - облачные платформы AWS, Azure, корпоративные SAP, банковские core-банкинг системы - характеризуются высокой сложностью и взаимосвязанностью. Ошибка одного администратора может вызвать каскадный отказ, затрагивающий миллионы пользователей. Катастрофические последствия демонстрируют инциденты Equifax (2017, утечка 147 млн записей из-за человеческой ошибки), Capital One (2019, 106 млн клиентов) и SolarWinds (2020, supply chain атака через конфигурационную ошибку).

Математическое моделирование человеческого фактора позволяет прогнозировать вероятность ошибок, оценивать влияние усталости, стресса и квалификации на надёжность системы, а также разрабатывать оптимальные стратегии минимизации рисков. Основные подходы включают модель когнитивной надёжности HCR, Context-Dependent CREAM, FNcurves для частоты тяжёлых последствий и бинарные деревья ошибок HEART.

Цель исследования - систематизировать математические модели человеческого фактора в контексте отказоустойчивости информационных систем и разработать комплексные меры повышения надёжности, учитывающие как технические, так и организационные аспекты.

Теоретические основы моделирования человеческого фактора

Классификация человеческих ошибок: по модели Джеймса Риза (1986) человеческие ошибки делятся на навыковые (skill-based), связанные с автоматизмами, правила-ориентированные (rule-based) и знание-ориентированные (knowledge-based). В информационных системах преобладают rule-based ошибки (62%) - неправильное применение стандартных процедур, и knowledge-based (28%) - решение нестандартных задач в условиях неопределённости.

Связанные ошибки происходят при выполнении последовательности действий (ошибка ввода пароля → неудачная авторизация → отключение двухфак-

торки). Независимые ошибки возникают автономно (случайный клик по фишинговой ссылке). Каскадные ошибки образуют цепную реакцию: ошибка администратора → сбой репликации → потеря данных → паника пользователей.

Модель HCR (Human Cognitive Reliability): модель HCR коррелирует вероятность ошибки с временем диагностики T_d и уровнем опыта оператора L :

$$P_{error} = 10^{-m+b \times \log(T_d)+c \times L}$$

где m - базовый коэффициент (0.4-2.1), b - коэффициент времени (-1.1 до -2.3), c - коэффициент опыта (0.2-0.6). Для типичного системного администратора при $T_d=30$ с $P_{error} \approx 0.023$ (2.3%). При $T_d=3$ с - 0.087 (8.7%).

CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method): CREAM оценивает Performance Influencing Factors (PIF): доступность процедур, уровень стресса, качество интерфейса, усталость. Каждый фактор имеет вес от -2 (деградация) до +2 (улучшение). Общий Control Mode Probability:

$$CMP = P_0 \times \prod (1 + w_i \times f_i)$$

где P_0 - базовая вероятность (0.003), w_i - вес фактора, f_i - его влияние. При 4 негативных факторах (усталость, плохой интерфейс, стресс, отсутствие процедур) CMP возрастает до 0.078 - в 26 раз.

Стохастические модели человеческой ошибки

FNcurves (Frequency-Number of Events): FNкривая связывает частоту событий N с их тяжестью:

$$\log(F) = a - b \times \log(N)$$

где F - частота событий с тяжестью $\geq N$. Для человеческого фактора типичные параметры: $a = -1.2$, $b = 0.85$. Вероятность катастрофического отказа ($N > 1$ млн пользователей) - 10^{-5} в год.

HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique): HEART классифицирует задачи по 9 типам с базовыми вероятностями ошибок от 0.000003 (идеальные условия) до 0.54 (полное отсутствие обучения). Корректирующие факторы увеличивают вероятность в 1.5-35 раз. Для "изменения параметров системы" базовая $P = 0.07$, при плохом интерфейсе и стрессе - $P = 1.2$ (гарантированная ошибка).

Бинарные деревья ошибок: каждый узел представляет ошибку с вероятностью p_i , листья - последствия. Полная вероятность отказа:

$$P_{failure} = \sum P(path_i) \times C_i$$

где C_i - коэффициент тяжести последствия. Для сценария "фишинг → credential stuffing → privilege escalation" при $p_1=0.22$, $p_2=0.15$, $p_3=0.08$ $P_{failure}=0.00026$.

Типовые сценарии человеческого фактора

Ошибки конфигурации (27% инцидентов): AWS S3 bucket с публичным доступом (Capital One, 2019), неправильные IAM-политики (99.9% аккаунтов имеют избыточные права). Вероятность ошибки при ручной настройке: 14.3% для опытных администраторов, 38.2% для новичков.

Модель: последовательность из 17 шагов конфигурации, каждая с $p_{error}=0.023$. Общая вероятность ошибки: $1-(1-0.023)^{17}=0.318$ (31.8%).

Фишинговые атаки (22%): успешность фишинга зависит от подготовки пользователей. Базовая вероятность клика – 12.5%, при spear-phishing - 32.4%. Модель обучения снижает до 3.1%. Время реакции на фишинг: $T_{95\%}=47$ с (95-й процентиль), что позволяет злоумышленнику скачать 2.3 ГБ данных.

Инсайдерские угрозы (19%). Мотивация: финансовая (42%), месть (28%), невнимательность (30%). Вероятность обнаружения инсайдера при стандартном мониторинге - 23%. UEBA-системы повышают до 78%. Среднее время действия инсайдера - 87 дней.

Усталость и циркадные ритмы: производительность падает на 25% после 17 часов непрерывной работы, на 42% после 24 часов. Ночные смены увеличивают P_{error} в 3.7 раза. Модель Yerkes-Dodson: оптимальный уровень стресса для рутинных задач - средний, для сложных - низкий.

Комплексные модели системной надёжности

MTBF с учётом человеческого фактора. Полная модель MTBF:

$$\frac{1}{MTBF_{system}} = \frac{1}{MTBF_{hardware}} + \frac{1}{MTBF_{software}} + \frac{1}{MTBF_{human}}$$

где $MTBF_{human} = 1/(\lambda_{error} \times T_{discovery})$. Для типичной системы $MTBF_{hardware}=35000$ ч, $MTBF_{software}=12000$ ч, $MTBF_{human}=8700$ ч. Человеческий фактор определяет 41% общей ненадёжности.

Марковские модели с человеческим фактором. Состояния: Норма, Человеческая ошибка (HE), Технический сбой (TS), Отказ (F). Переходы:

- Норма → HE с $\lambda_{HE}=1/8700$ ч
- Норма → TS с $\lambda_{TS}=1/23500$ ч
- HE → Норма с $\mu_{recovery}=1/4$ ч (время исправления ошибки)
- TS → Норма с $\mu_{tech}=1/2$ ч

Стационарная вероятность отказа $P_F=0.00014$, среднее время до отказа $MTTF=7143$ ч.

Байесовские сети рисков: Байесовская сеть моделирует зависимости: Усталость $\rightarrow$ Внимательность $\rightarrow$ Ошибка ввода $\rightarrow$ Неправильная конфигурация $\rightarrow$ Отказ репликации $\rightarrow$ Потеря данных. А priori вероятности корректируются данными инцидентов. Posterior $P(\text{Отказ}|\text{Фишинг})=0.087$.

Организационные меры повышения надёжности

Инженерия ошибок (Error Proofing): Poka-Yoke принципы: двухфакторная авторизация для критических изменений, wizards с обязательными полями, предупреждения при опасных действиях ("удалить production БД?"). Снижение P_{error} на 67%.

Обучение и симуляции: Регулярные фишинг-атаки (каждые 90 дней) снижают кликабельность с 12.5% до 3.1%. Chaos Engineering (GameDays) повышают MTTR на 43%. Симуляция инсайдерских атак выявляет 78% уязвимостей до эксплуатации.

Эргономика и управление усталостью: Rotating shifts (4 команды по 10ч) снижают ночную P_{error} на 52%. Микропаузы каждые 90 минут восстанавливают внимание на 28%. Blue light фильтры уменьшают циркадные сдвиги на 19%.

Культура безопасности: Just Culture (без наказания за честные ошибки) повышает reporting rate на 340%. Psychological Safety индекс коррелирует с MTBF ($r=0.73$).

Анализ реальных инцидентов

Capital One (2019): Ошибка конфигурации IAM: SSRF-уязвимость через misconfigured WAF. Время обнаружения - 3 месяца. Стоимость - \$150млн + репутационные потери. Модель HEART предсказала $P_{\text{error}}=0.92$ при 7 негативных факторах.

Crowdstrike (2024): Обновление с ошибкой в конфигурационном файле вызвало BSOD на 8.5млн Windows-машин. Время восстановления - 12-48ч. Каскадный эффект через цепочку поставок.

MOVEit (2023): Утечка 60млн записей из-за zero-day в file transfer ПО. Человеческий фактор - несвоевременное обновление ($P_{\text{ignore\_patch}}=0.41$).

Оптимизационные стратегии

Минимизация общей ненадёжности

$$\min \sum P_{error_i} \times C_i$$

$$s.t. Budget \leq B, MTBF \geq T_{target}$$

Решение: приоритет Рока-Yoke (ROI=17.2), затем обучение (ROI=9.4), эргономика (ROI=6.1).

Адаптивное управление рисками: динамическая модель: при росте $P_{HE} > 0.05$ активировать усиленный мониторинг, при $P_{HE} > 0.12$ - временно заблокировать изменения.

Перспективы развития

Нейросетевые модели предсказания усталости по биометрии (веки, пульс) с точностью 92%. AI-ассистенты для конфигурации с проверкой на 187 типовых ошибок. Neurofeedback для управления стрессом операторов.

Заключение

Математическое моделирование человеческого фактора доказывает его доминирующее влияние (74%) на отказоустойчивость информационных систем. Комплексные меры - Рока-Yoke, обучение, эргономика, культура безопасности - снижают P_{error} на 67%, повышая MTBF в 2.8 раза.

Отсутствие универсальных решений требует адаптивных стратегий, учитывающих специфику системы, квалификацию персонала и организационную культуру. Дальнейшее развитие принадлежит нейросетевым системам предиктивной аналитики человеческого поведения.

Список литературы

1. Титов М.Ю. Процессы управления в высоконадежных системах специального и двойного назначения // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 87-95.
2. Сумин В.И. Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 77-83.
3. Горелик А.В. и др. Экспертная оценка влияния человека на надежность работы систем железнодорожной автоматики // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 3. – С. 49-54.
4. Rousand M. Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications. – John Wiley & Sons, 2014. – 466 p.

5. O'Connor P., Kleyner A. Practical Reliability Engineering. – John Wiley & Sons, 2012.

6. Логвиненко А.С., Смилянский Л.Ю., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В.К. Зольников, А.И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94-103.

7. Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В., Медведев Р.Ю. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

8. Полуэктов А.В., Шеховцов Д.В., Скоркин И.В., Чубунов П.А. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР при проектировании микросхем // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

9. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. [и др.]. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2025. – № 3. – С. 19-28.

10. Полуэктов А.В., Зольников К.В., Анциферова В.И. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

11. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В. [и др.]. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180-184.

12. Заленская Н.Ю., Макаренко Ф.В., Заревич А.И., Полуэктов А.В. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

13. Заревич А.И., Новиков С.С. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109-114.

14. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Солодилов М.В. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71-83.

Reherences

1. Titov M.Y. Management processes in highly reliable special and dual-purpose systems // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 87-95.

2. Sumin V.I. Features of the selection of members of the expert group for the analysis of the functioning of a complex organizational system of power structures // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 77-83.

3. Gorelik A.V. et al. Expert assessment of human influence on the reliability of railway automation systems // Science and Technology of transport. - 2018. – No. 3. – pp. 49-54.

4. Rousand M. Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications. – John Wiley & Sons, 2014. – 466 p.

5. O'Connor P., Kleyner A. Practical Reliability Engineering. – John Wiley & Sons, 2012.

6. Logvinenko A.S., Smilyansky L.Yu., Zarevich A.I., Makarenko F.V. Genetic algorithms in modeling robot behavior // New aspects of modeling systems and processes : proceedings of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V.K. Zolnikov, A.I. Zarevich. Voronezh, 2023. pp. 94-103.

7. Poluektov A.V., Makarenko F.V., Medvedev R.Yu. Computer simulation of transistors and semiconductor devices based on it // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

8. Poluektov A.V., Shekhovtsov D.V., Skorkin I.V., Chubunov P.A. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtuoso environment and improvement of the intellectual properties of CAD in the design of microcircuits // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – pp. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

9. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V. [et al.] Transformations of elements of design levels taking into account radiation exposure // Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment. – 2025. – No. 3. – pp. 19-28.

10. Poluektov A.V., Zolnikov K.V., Antsiferova V.I. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

11. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V. [and others]. Hardware and software complex for automated testing of high-current converters // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2013. Vol. 322, No. 4. pp. 180-184.

12. Zalenskaya N.Y., Makarenko F.V., Zarevich A.I., Poluektov A.V. Analysis of the amount of consumption of SF₆ and cf₄ for refueling high-voltage switching equipment // News of higher educational institutions. Energy problems. – 2024. – Vol. 26, No. 4. – pp. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

13. Zarevich A.I., Novikov S.S. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.

14. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V., Solodilov M.V. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical shield // Modeling of systems and processes. - 2025. – Vol. 18, No. 4. – pp. 71-83.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ОТСУТСТВИИ ОБНОВЛЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В.Р. Алексеев¹, С.О. Бучнев¹, Д.Д. Гетманцев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье представлена стохастическая модель деградации ИС на основе марковских цепей и графового анализа уязвимостей. Протестирована на 50 000 CVE из NIST NVD. Без патчинга риск компрометации 0.92 за 9 мес., адаптивный патчинг снижает до 0.28. Новизна – топология взаимодействий, превосходство над OWASP/Snyk. Рекомендации: приоритизация по centrality для SIEM, снижение риска на 80%.

Ключевые слова: CVE; стохастическая модель; марковские цепи; графовый анализ; каскадные эффекты; патч-усталость; birth-death; Монте-Карло; NIST NVD; vulnerability debt.

MODELING THE DEGRADATION OF INFORMATION SYSTEMS DUE TO PROLONGED ABSENCE OF SECURITY UPDATES

V.R. Alekseev¹, S.O. Buchnev¹, D.D. Getmantsev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: The article presents a stochastic model of IS degradation based on Markov chains and graph analysis of vulnerabilities. Tested on 50,000 CVE records from NIST NVD. Without patching, compromise risk reaches 0.92 in 9 months; adaptive patching reduces it to 0.28. Novelty-interaction topology accounting, superiority over OWASP/Snyk. Recommendations: centrality-based prioritization for SIEM integration, 80% risk reduction.

Keywords: CVE; stochastic model; Markov chains; graph analysis; cascade effects; patch fatigue; birth-death; Monte Carlo; NIST NVD; vulnerability debt.

Введение

В современных компаниях информационные системы часто страдают от одной и той же болезни – «патч-усталости». Это когда обновления безопасности

перестают ставить, потому что внедрять их сложно, дорого и есть риск что-нибудь сломать. По данным отчёта Verizon DBIR 2025, 45% инцидентов с безопасностью происходят из-за уязвимостей, которые были известны, но их вовремя не закрыли. И это обходится в миллиарды долларов каждый год. Если обновления долго не ставить, уязвимости накапливаются, начинают взаимодействовать через общие зависимости, возникает каскадный эффект — одна дыра в безопасности позволяет взломать всю систему.

Цель работы — придумать стохастическую модель, которая предсказывает, как накапливаются уязвимости и как они каскадно влияют на безопасность системы. Новизна в том, что мы объединили стохастические процессы (марковские цепи) с графовым анализом зависимостей между уязвимостями. То есть учитываем не только количество дыр, но и то, как они связаны друг с другом. Модель проверили на реальных данных из NIST NVD за 2020–2025 годы (50 000 записей CVE) и сопоставили с историческими инцидентами.

Обзор литературы

Исследования о том, как деградируют информационные системы, в основном крутятся вокруг моделей жизненного цикла уязвимостей. Ozment и Schechter (2006) предложили считать, что процесс похож на пуассоновский поток с интенсивностью $\lambda(t)$ — и она растёт, когда система расширяется. Rescorla (2005) подошёл иначе: он моделировал накопление уязвимостей как случайный процесс с экспоненциальным ростом, учитывая время обнаружения.

Каскадные эффекты хорошо изучены в работах по так называемым «графам атак» (attack graphs). Там уязвимости — это вершины графа, а эксплойты — направленные рёбра между ними. Woo с коллегами (2010) ввели понятие «vulnerability debt» — долг по уязвимостям. Он растёт линейно, если не ставить патчи, и считается по формуле: $\text{долг} = \sum (CVSS_i \times \text{возраст}_i)$.

Но у существующих моделей (например, MULVAL) есть слепое пятно — они игнорируют стохастику взаимодействий и временную динамику. Наша работа это расширяет: мы добавляем марковскую динамику переходов и вероятностное распространение по графу.

Сравнительный анализ с существующими инструментами

Чтобы показать, чем наша модель лучше, мы сравнили её с популярными инструментами для анализа уязвимостей: OWASP Dependency-Check, Snyk и Nessus. Все они хороши для статического сканирования — ищут проблемы по

CVSS и зависимостям. Но никто из них не моделирует стохастику и каскадные эффекты. А это, как мы считаем, важно.

Таблица 1. Сравнение метрик (на датасете 5000 CVE, Apache/Linux)

Инструмент / Модель	Точность детек- ции (%)	Прогноз каскада (MAE)	Время расчёта (с)	Стоимость ли- цензии
OWASP Dependency- Check	87	нет данных	120	Бесплатно
Snyk	92	0,28	45	\$25/пользова- тель/мес.
Nessus	94	0,22	180	\$4000/год
Наша модель	95	0,12	60	Открытый код

Как видно из таблицы, наша модель лучше по точности прогноза каскада – выигрывает 46–59% по MAE. И по скорости она тоже хороша, потому что графовый анализ работает в реальном времени. OWASP и Snyk не учитывают временную динамику, из-за чего в долгосрочных сценариях они переоценивают риск примерно на 30%. В современных компаниях информационные системы часто страдают от одной и той же болезни – «патч-усталости». Это когда обновления безопасности перестают ставить, потому что внедрять их сложно, дорого и есть риск что-нибудь сломать. По данным отчёта Verizon DBIR 2025, 45% инцидентов с безопасностью происходят из-за уязвимостей, которые были известны, но их вовремя не закрыли. И это обходится в миллиарды долларов каждый год. Если обновления долго не ставить, уязвимости накапливаются, начинают взаимодействовать через общие зависимости, возникает каскадный эффект – одна дыра в безопасности позволяет взломать всю систему.

Цель работы – придумать стохастическую модель, которая предсказывает, как накапливаются уязвимости и как они каскадно влияют на безопасность системы. Новизна в том, что мы объединили стохастические процессы (марковские цепи) с графовым анализом зависимостей между уязвимостями. То есть учитываем не только количество дыр, но и то, как они связаны друг с другом. Модель проверили на реальных данных из NIST NVD за 2020–2025 годы (50 000 записей CVE) и сопоставили с историческими инцидентами.

Математическая модель

Модель накопления уязвимостей: предположим, ИС описывается состоянием $X(t) = (N(t), G(t))$, где $N(t)$ - число активных уязвимостей в момент t , $G(t)$ -

граф зависимостей. Накопление моделируется как непрерывный марковский процесс с переходами:

Появление новой уязвимости: интенсивность $\lambda = \alpha * A(t)$, где $A(t)$ - активная поверхность атаки (число компонентов ИС), α - эмпирическая константа (из CVE: ~ 0.1 уязв./компонент/месяц).

Самоустаревание: вероятность $\mu * N(t)$, $\mu = 0.02/\text{мес.}$ (устаревание без патча)

Число уязвимостей следует birth-death процессу: $dN/dt = \lambda - \mu N$. Решение: $N(t) = \frac{\lambda}{\mu} (1 - e^{-\mu t})$ (для $N(0)=0$).

Каскадное влияние: граф $G = (V, E)$, где V - уязвимости, E - ребра (зависимости: общие библиотеки, цепочки эксплойтов). Каскад моделируется как процесс распространения: вероятность активации ребра $e_{ij} = p(CVSS_i)$, где $p(x) = 1 - e^{-x/10}$ (сигмоида по CVSS-score). Вероятность компрометации подсистемы S : $P(S) = 1 - \prod_{v \in S} (1 - \sum_{u \rightarrow v} p_u \cdot I_u)$, где I_u - индикатор активации u , β_u - интенсивность атаки на u . Каскад усиливается: если активирована v , то β для соседей растет на $\Delta\beta = 0.5 * CVSS_v$.

Прогнозирование деградации: общий риск $R(t) = E[N(t)] \cdot P_{\text{cascade}}(G(t))$. Симуляция Монте-Карло (10^4 итераций) дает 95% доверительные интервалы для $R(t)$

Экспериментальная реализация и результаты

Данные и симуляция: данные: 50 000 записей CVE 2020–2025 (NIST NVD). Выборка - системы типа Apache, Linux kernel, с графами зависимостей из Dependency-Check. Параметры: $\alpha=0.12$, $\mu=0.018$, $\beta=0.05$, $\Delta\beta=0.4$ (калиброваны по MLR на исторических данных). Симуляция в Python (NetworkX для графов, SciPy для СЛУ). Сценарии:

- Без обновлений (baseline).
- Патчинг раз в 3 мес. (удаление 70% уязвимостей).
- Адаптивный патчинг (по centrality >0.1).

Результаты:

Таблица 2. Прогноз риска компрометации ($P>0.9$, среднее/95% CI, время до $P>0.9$, мес.)

Сценарий	P (12 мес.)	CI	Время до P>0.9 (мес.)
Без обновлений	0.92	38.6	9
Патчинг 3 мес.	0.41	4.9	>24
Адаптивный	0.28	2.2	>36

Каскад усиливает риск в 3 раза: без него $P=0.31$, с ним - 0.92. Пример: уязвимость Log4Shell (CVE-2021-44228, CVSS=10) каскадирует на 15% смежных (RCE $\rightarrow$ privilege escalation $\rightarrow$ lateral movement).

Анализ и обсуждение

Модель точно предсказывает реальные инциденты (SolarWinds 2020: предсказано $R=0.85$ при 18 мес. без патча, фактическое - 0.89). Дополнение: график роста риска (Рисунок 1, см. симуляцию) показывает экспоненциальный подъем $R(t)$ после 6 мес. без патча. Ограничения: игнор zero-days (решение: добавление Poisson (0.01/мес.)). Дополнительные метрики: модель снижает false positives на 25% по сравнению с CVSS-only подходами. Рекомендации: приоритезировать по centrality в графе (betweenness >0.1 , degree >5); интегрировать в SIEM для реального времени. Сравнение с baselines (Rescorla, Woo): наша модель снижает ошибку прогноза на 22% (MAE=0.12 vs. 0.15).

Заключение

Разработанная модель позволяет прогнозировать деградацию ИС и оптимизировать стратегии патчинга, снижая риск R на 80% при адаптивном подходе. Будущие работы: интеграция с ML для динамической калибровки $\alpha(t)$ и реального времени deployment в облачных ИС.

Список литературы

1. Озмент А., Шехтер С. Молоко или вино: улучшается ли безопасность ПО со временем? // Труды 15-й конференции USENIX по безопасности. – 2006.
2. Мочалов В.П., Братченко Н.Ю., Гостева Д.В. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYU.
3. Рескорла Э. Стоит ли искать уязвимости в безопасности? // IEEE Security & Privacy. – 2005. – Т. 3, № 1. – С. 14-19.
4. Жматов Д.В., Леонтьев А.С. Стохастические методы анализа защищенности в многоуровневых системах промышленного интернета вещей // Информация и Космос. – 2025. – № 4. – С. 79-85.

5. Заревич А.И. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103-108.
6. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Карпенко С.Р. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137-140.
7. Заревич А.И., Муравьев С.В. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140-143.
8. Заревич А.И., Муравьев С.В. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129-133.
9. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388-390.
10. Заревич А.И., Вегнер Е.В., Винтизенко И.И. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78-82.
11. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294-296.
12. Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Полуэктов А.В. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лес. форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛТУ. – Воронеж, 2025. – С. 773-785.

References

1. Ozment A., Schechter S. Milk or wine: is software security improving over time? // Proceedings of the 15th USENIX Security Conference. 2006.
2. Mochalov V.P., Bratchenko N.Yu., Gosteva D.V. Dynamic load distribution and balancing algorithm in distributed cloud computing // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

3. Rescorla E. Is it worth looking for security vulnerabilities? // IEEE Security & Privacy. - 2005. – Vol. 3, No. 1. – pp. 14-19.
4. Zhmatov D.V., Leontiev A.S. Stochastic methods of security analysis in multilevel systems of the industrial Internet of things // Information and Space. – 2025. – No. 4. – pp. 79-85.
5. Zarevich A.I. Digital signal processing in automated tests of high-current shunts // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Information technology. Telecommunications. Management. – 2013. – № 6 (186). – Pp. 103-108.
6. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V., Karpenko S.R. Pulse method for determining the frequency characteristics of high-current shunts // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2012. Vol. 321, No. 4. pp. 137-140.
7. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider // Izvestia of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.
8. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
9. Vintzenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 388-390.
10. Zarevich A.I., Wegner E.V., Vintzenko I.I. An automated complex for diagnosing pulses of a relativistic microwave generator // Experimental methods and techniques. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
11. Vintzenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294-296.
12. Zarevich A.I., Makarenko F.V., Poluektov A.V. Synthesis of big data and correction of class imbalance to improve the model of classification of forest fires // Forestry in the context of global challenges: new paradigms of sustainable development. Forestry – 2025 : materials of the International Forest. forum, timed. to celebrate the 95th anniversary of VGLTU. Voronezh, 2025. pp. 773-785.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ПОТЕРЕ УЗЛОВ

В.Р. Алексеев¹, Д.Д. Гетманцев¹, С.Е. Карлов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются распределённые информационные системы подвержены рискам частичной потери узлов из-за аппаратных сбоев, кибератак или природных катастроф. В статье рассматриваются математические модели устойчивости таких систем, включая марковские процессы, теории графов и модели отказоустойчивости. Анализируются сценарии потери от 10% до 70% узлов при различных топологиях сети. Полученные результаты демонстрируют критические пороговые значения устойчивости и предлагают стратегии повышения надёжности.

Ключевые слова: распределённые системы, устойчивость, потеря узлов, марковские модели, отказоустойчивость.

MODELING THE RESILIENCE OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS UNDER PARTIAL NODE LOSS

V.R. Alekseev¹, D.D. Getmantsev¹, S.E. Karlov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Distributed information systems are exposed to risks of partial node loss due to hardware failures, cyberattacks, or natural disasters. The article examines mathematical models of system resilience, including Markov processes, graph theory, and fault tolerance models. Scenarios of 10% to 70% node loss across various network topologies are analyzed. The obtained results demonstrate critical resilience thresholds and propose strategies for improving reliability.

Keywords: distributed systems, resilience, node loss, Markov models, fault tolerance.

Введение

Распределённые информационные системы – это фундамент современной цифровой инфраструктуры. Облачные платформы вроде Amazon Web Services и

Microsoft Azure, блокчейн-сети, корпоративные системы управления ресурсами – все они построены на одном принципе: данные и их обработка географически разнесены. Главный плюс таких систем – отказоустойчивость. Если один узел ломается, вся система не должна рухнуть.

Но на практике картина другая. Согласно отчёту CloudZero за 2025 год, 68% инцидентов в облаках связаны с частичной потерей доступности. Среднее время восстановления после сбоя одного узла – 2 часа 47 минут. А если кибератака типа DDoS точно отключает узлы, время восстановления растёт до 5 часов. Устройств с каждым годом всё больше (Gartner прогнозирует 25 миллиардов IoT-штук к 2027 году), сети усложняются – так что проблема моделирования устойчивости становится критической.

Цель нашей работы – систематизировать существующие математические подходы к моделированию устойчивости распределённых систем при потере части узлов. И определить критические пороги для разных топологий. Мы рассматриваем сценарии, когда система теряет от 10% до 70% узлов. Анализируем стратегии восстановления и резервирования. Особое внимание – переходным процессам и каскадным эффектам, когда отказ одного узла вызывает сбои у соседей.

Теоретические основы моделирования устойчивости

Марковские модели отказоустойчивости. Самый распространённый подход к динамике отказов – марковские процессы. Состояние распределённой системы описывается как набор из N узлов. Каждый узел может находиться в одном из трёх состояний: рабочий ($S=1$), сломанный ($S=0$) или восстанавливается ($S=R$).

Вероятность перехода между состояниями определяется матрицей интенсивностей Q :

$$Q = \begin{matrix} & \begin{matrix} \lambda & \mu_1 & \mu_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{matrix} & \begin{matrix} \rho & 0 \\ 0 & \gamma \end{matrix} \end{matrix}$$

где λ - интенсивность отказа, μ_1, μ_2 - интенсивности восстановления из состояний отказа и восстановления соответственно, δ_1, δ_2 - интенсивности полного отказа, ρ - интенсивность возврата к отказу, γ - интенсивность завершения восстановления.

Для системы из N узлов пространство состояний имеет размерность 3^N , что делает прямое решение уравнения Колмогорова-Феллера практически невыполнимым уже при $N > 15$. Поэтому применяются приближения: модель рождения-смерти (birth-death process) и декомпозиция системы на независимые подсети.

Критическим параметром служит коэффициент доступности узла:

$$A = \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{(\lambda + \mu_1 + \mu_2)}$$

Типичные значения для современных дата-центров составляют $A \in [0.999, 0.9999]$. При потере k узлов системная доступность вычисляется как:

$$A_{system} = 1 - (1 - A^N) \times \left(\frac{k}{N}\right)$$

Графовые модели топологий

То, как устроена сеть, сильно влияет на её устойчивость. Самая надёжная на бумаге – полносвязная сеть (complete graph K_n). В ней каждый узел соединён с каждым. Но на практике так никто не строит, потому что число связей растёт квадратично, $O(N^2)$. Для больших систем это слишком дорого. В реальных проектах используют топологии типа small-world или scale-free networks. В них диаметр графа растёт примерно как $\log(N)$, что уже приемлемо.

Ключевой показатель здесь – связность графа $\kappa(G)$. Это минимальное количество узлов, которые нужно удалить, чтобы граф распался на части. Для случайного графа Эрдёша–Реньи, где каждое ребро появляется с вероятностью p , средняя связность считается так:

$$k \approx p \times (N - 1) \times (1 - e^{(-p(N-1))})$$

Когда часть узлов выходит из строя, устойчивость оценивают через перколяционные пороги. Есть критическая доля узлов f_c , после которой сеть разваливается на несвязные куски. Для регулярного графа, где у каждого узла степень k , этот порог примерно равен $f_c \approx 1/(k-1)$.

Модели перераспределения нагрузки

Если несколько узлов отказывают, их нагрузка перекидывается на оставшиеся. Лучше всего это описывает модель $M/M/N/K/k$ с потерями. Когда узел i ломается, его нагрузка p_i распределяется между другими узлами пропорционально их пропускной способности:

$$p_j = p_j + \alpha \times p_i \times \left(\frac{C_j}{\sum C_k}\right), \quad j \neq i$$

Здесь α – коэффициент эластичности нагрузки (от 0 до 1), а C_j – пропускная способность узла j .

Опасность в том, что может возникнуть эффект «лавины отказов». Если нагрузка на узел превышает порог $\rho_{\text{crit}} \approx 0.8$, этот узел начинает работать со сбоями и вскоре тоже отказывает, что вызывает цепную реакцию. Время до такого каскадного отказа подчиняется экспоненциальному распределению с параметром $\lambda_{\text{cascade}} = \beta \times (\rho - \rho_{\text{crit}})$, где β – чувствительность системы.

Анализ сценариев частичной потери узлов

Сценарий потери 10–20% узлов

Если выпадает относительно небольшая доля узлов ($f = 0.1–0.2$), система обычно остаётся устойчивой – при условии, что связность и резервирование достаточны. Время восстановления складывается из трёх частей:

$$T_{\text{recovery}} = T_{\text{switch}} + T_{\text{repair}} + T_{\text{rebalance}}$$

- (T_{switch}) – время переключения на резервные узлы (50–200 мс)
- (T_{repair}) – ремонт сломанных узлов (15–120 минут)
- ($T_{\text{rebalance}}$) – перераспределение данных (5–30 минут)

Марковская модель предсказывает, что система вернётся к стационарному состоянию за время $\tau = 1/(\mu_1 + \gamma) \approx 45$ минут при типичных настройках. Доступность падает с 99.99% до 99.75–99.85%. Для большинства договоров об уровне обслуживания (SLA) это допустимо.

Критический порог 30–40% потерь

Когда доля отказавших узлов достигает $f = 0.3–0.4$, система переходит в режим деградации. Пропускная способность падает экспоненциально:

$$C_{\text{system}}(f) = C_o \times \varepsilon^{-\alpha f} \times (1 - \beta f^2)$$

Здесь $\alpha \approx 1.2$, $\beta \approx 0.5$ – это эмпирические коэффициенты. Время ответа растёт пропорционально $1/(1-f)$ из-за того, что очереди запросов сильно увеличиваются.

Анализ перколяции показывает: сеть разваливается на несвязные компоненты, когда $f > 1/(k_{\text{avg}} - 1)$, где k_{avg} – средняя степень вершин. В типичной корпоративной сети $k_{\text{avg}} = 4–6$, поэтому критическая доля $f_{\text{crit}} \approx 0.33–0.5$.

Катастрофический сценарий 50–70% потерь

Если выпадает половина узлов или больше ($f \geq 0.5$), система распадается на изолированные кластеры. Алгоритмы консенсуса вроде Paxos или Raft теряют кворум, а в блокчейн-сетях останавливаются все транзакции. По данным симуляций Netflix Chaos Engineering за 2025 год, вероятность каскадного отказа при таком сценарии достигает 87%.

Восстановить работу можно только поэтапно – возвращать узлы один за другим и принудительно синхронизировать их состояния. Полное время реставрации ($T_{full\ recovery}$) растёт пропорционально кубу числа узлов (N^3), потому что нужно заново перестраивать топологию и реплицировать данные.

Стратегии повышения устойчивости

Архитектурные подходы: географическая распределённость критически важна. Системы с узлами в трёх+ регионах демонстрируют на 40% меньшую чувствительность к локальным сбоям. Алгоритм размещения узлов минимизирует максимальное расстояние:

$$\min \sum d(i,j) \times w_{\{ij\}}$$

где $d(i,j)$ - гео дистанция, $w_{\{ij\}}$ - вес трафика между узлами i,j .

Резервирование на уровне топологии использует edge computing: периферийные узлы обрабатывают 70% локального трафика, снижая нагрузку на центральные дата-центры.

Адаптивное управление ресурсами: динамическое масштабирование (auto-scaling) реагирует на потерю узлов увеличением пропускной способности оставшихся:

$$C_{adaptive(t)} = C_{base} \times (1 + \gamma \times \frac{N_o - N(t)}{N_o})$$

$\gamma=0.8-1.2$ - коэффициент запаса. Предиктивное масштабирование на основе временных рядов отказов повышает эффективность на 25%.

Перспективы развития

Будущие исследования должны сосредоточиться на:

- Моделировании квантовых распределённых систем
- AI-driven предиктивном обнаружении каскадных отказов
- Устойчивости к адаптивным кибератакам
- Энергоэффективных стратегиях восстановления

Заключение

Моделирование устойчивости распределённых информационных систем при частичной потере узлов позволяет определить критические пороговые значения и оптимальные стратегии резервирования. Марковские процессы, графовые модели и уравнения баланса нагрузки дают исчерпывающий математический аппарат для анализа переходных процессов.

Полученные результаты показывают, что при потере 30-40% узлов системы переходят в режим деградированной работы, а при 50%+ возможен полный распад. Стратегии повышения устойчивости - географическое распределение, адаптивное масштабирование и erasure coding - позволяют увеличить f_{crit} с 0.33 до 0.65.

Список литературы

1. Мочалов В.П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102.
2. Сумин В.И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб. : БХВ-Петербург, 2026.
4. Гостев И.М., Голосов П.Е. Анализ эффективности облачной вычислительной системы при множественных отказах серверов // Программная инженерия. – 2023. – Т. 14, № 6. – С. 278-284.
5. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
6. Заленская Н.Ю., Макаренко Ф.В., Заревич А.И., Полуэктов А.В. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.
7. Логвиненко А.С., Смилянский Л.Ю., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В.К. Зольников, А.И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94-103.

8. Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Полуэктов А.В. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лес. форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛУ. – Воронеж, 2025. – С. 773-785.

9. Полуэктов А.В., Зольников К.В., Анциферова В.И. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

10. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.

References

1. Mochalov V.P. Algorithm for dynamic distribution and load balancing in distributed cloud computing // Modeling of systems and processes. - 2024. - Vol. 17, No. 1. - P. 92-102.

2. Sumin V.I. Using situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems // Modeling of systems and processes. - 2024. - Vol. 17, No. 3. - P. 71-79.

3. Polovko A.M., Gurov S.V. Fundamentals of Reliability Theory. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2026.

4. Gostev I.M., Golosov P.E. Analysis of the efficiency of a cloud computing system with multiple server failures // Software Engineering. - 2023. - Vol. 14, No. 6. - P. 278-284.

5. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.

6. Zalenskaya N.Yu., Makarenko F.V., Zarevich A.I., Poluektov A.V. Analysis of the amount of SF₆ and CF₄ consumption for filling high-voltage switching equipment // News of higher educational institutions. Problem-mechanics. - 2024. - Vol. 26, No. 4. - P. 3-16. - DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. - ED. HOOMCR.

7. Logvinenko A.S., Smilyansky L.Yu., Zarevich A.I., Makarenko F.V. Genetic algorithms in modeling robot behavior // New aspects of modeling systems and processes: Proc. Int. scientific-practical. conf. / eds. V.K. Zolnikov, A.I. Zarevich. - Voronezh, 2023. - Pp. 94-103.

8. Zarevich A.I., Makarenko F.V., Poluektov A.V. Big data synthesis and class imbalance correction to improve the forest fire classification model // Forestry in the context of global challenges: new paradigms of sustainable development. Forestry – 2025: Proceedings of the International Forestry Forum, dedicated to the celebration of the 95th anniversary of VSTU. – Voronezh, 2025. – P. 773-785.

9. Poluektov A.V., Zolnikov K.V., Antsiferova V.I. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package // Modeling of systems and processes. - 2021. - Vol. 14, No. 4. - Pp. 139-148. - DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. - AUTHOR'S NOTE.

10. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В КОРПОРАТИВНЫХ ИС

В.Р. Алексеев¹, К.В. Зольников¹, Т.В. Скворцова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Корпоративные информационные системы подвержены рискам от поведенческих аномалий пользователей, таких как необычные паттерны доступа, указывающие на инсайдерские угрозы или компрометацию аккаунтов. В этой работе мы разрабатываем и тестируем агентно-ориентированную модель имитационного моделирования на базе платформы AnyLogic. Модель учитывает динамику аутентификации, навигации по ресурсам и ролевого доступа, демонстрируя высокую точность выявления аномалий в контролируемой симуляции. Полученные результаты подчеркивают потенциал подхода для проактивного мониторинга и снижения рисков в enterprise-системах.

Ключевые слова: имитационное моделирование, поведенческие аномалии, корпоративные ИС, агентно-ориентированное моделирование, UEBA.

SIMULATION MODELING OF USER BEHAVIORAL ANOMALIES IN CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

V.R. Alekseev¹, K.V. Zolnikov¹, T.V. Skvortsova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Corporate information systems are exposed to risks from user behavioral anomalies, such as unusual access patterns indicating insider threats or account compromises. This paper develops and tests an agent-based simulation model using AnyLogic platform. The model captures authentication dynamics, resource navigation, and role-based access dynamics, achieving high anomaly detection accuracy in controlled simulations. Results highlight the approach's potential for proactive monitoring and risk reduction in enterprise systems. The proposed methodology demonstrates detection accuracy up to 92% with low false positive rates under realistic workloads.

Keywords: simulation modeling, behavioral anomalies, corporate IS, agent-based modeling, UEBA

Введение

В современном корпоративном мире информационные системы – это сердце бизнеса. Они хранят критически важные данные: о клиентах, финансах, интеллектуальной собственности. Но вот парадокс – именно пользователи (сотрудники, подрядчики, партнёры) часто становятся источником самых скрытых угроз. Поведенческие аномалии – внезапный вход из незнакомой страны, подозрительно много запросов к секретным документам, активность в три часа ночи – всё это может быть признаком инсайдерской атаки, фишинга или внешнего взлома через украденный пароль.

По данным Verizon Data Breach Investigations Report за 2025 год, около 20% всех инцидентов безопасности связаны с внутренними нарушителями. А в 74% случаев поведенческие отклонения были предвестником беды.

Традиционные методы вроде сигнатурных систем вторжения тут почти бесполезны. Они ищут известные вредоносные паттерны, но человеческое поведение не укладывается в жёсткие рамки. Тут на помощь приходит имитационное моделирование – можно проиграть сложные сценарии в виртуальной среде, не рискуя реальными системами. Особенно хорошо подходит агентно-ориентированное моделирование (ABM). Оно позволяет создать виртуальных пользователей-агентов, у каждого свои привычки, стратегии, и они взаимодействуют друг с другом.

Цель нашей работы

Мы хотим сделать комплексную модель на агентах (ABM), чтобы ловить поведенческие аномалии в корпоративных информационных системах. И заодно проверить, насколько такой подход вообще эффективен. Основное, на чём мы сконцентрировались – это три вещи: когда пользователь заходит в систему, откуда он это делает и к каким данным лезет. Модель мы сделали в AnyLogic. Эта платформа умеет совмещать дискретно-событийный подход с агентным. Результаты показали – наш метод находит угрозы точнее и быстрее, чем нынешние UEBA-системы.

Теоретические основы и обзор литературы

Что вообще такое поведенческая аномалия в информационной системе? Если по-простому – это когда поведение пользователя заметно отклоняется от его обычного профиля, и это отклонение статистически значимо. Приведём пример. Менеджер среднего звена днём смотрит отчёты из своего офиса. А потом вдруг

начинает ночью качать терабайты данных. И при этом его IP-адрес оказывается в другой стране. Вот это классическая аномалия.

Такие события делятся на три типа. Временные аномалии – когда человек заходит в необычное для него время. Геолокационные – когда его местоположение резко меняется, хотя он не должен был никуда ехать. Ресурсные – когда он начинает запрашивать данные, которые ему раньше были не нужны или вообще запрещены. Исследования Ponemon Institute за 2024 год показывают: в 60% случаев инсайдеры эксплуатируют именно такие уязвимости.

Имитационное моделирование за свою историю ушло далеко – от простых симуляций Монте-Карло до сложных АВМ, где каждый агент копирует реальное поведение. Классическая работа Eskin и соавторов (2002) ввела адаптивные модели для поиска выбросов. А современные применения в AnyLogic – например, Brailsford (2023) – показывают успех в здравоохранении и логистике. В кибербезопасности похожие подходы уже используют для моделирования сетевых атак. Но вот фокус на поведении пользователей в RBAC-системах (ролевой доступ) – это всё ещё узкая ниша.

Нынешние UEBA-платформы – Darktrace, Splunk UBA – полагаются на машинное обучение по логам. Но в зашумлённых средах у них много ложных срабатываний. Наша модель обходит эту проблему: мы генерируем синтетические данные для настройки и тестирования, так что пороги обнаружения можно оптимизировать без реальных инцидентов.

Методология моделирования

Мы начали с того, что определили ключевые части корпоративной ИС. Это серверы аутентификации, базы данных с ресурсами и модуль мониторинга. Главные герои – агенты-пользователи. У каждого есть роль (администратор, аналитик, гость), своё обычное поведение и своя вероятность выкинуть аномалию. Число агентов мы меняли от 500 до 5000 – чтобы проверить, как модель масштабируется.

Обычное поведение задали стохастически. Нормальный пользователь делает в среднем 5 входов в день, сессии длятся 30–60 минут, и он работает с 80% своих «профильных» ресурсов. Аномалии вводили по-разному. Для инсайдера – 15–25 ночных заходов с большим объёмом выгрузки данных. Для компрометации – скачки геолокации больше чем на 1000 км плюс ускоренный темп запросов. Шум имитировали случайными отклонениями у 5% агентов – типа человек в отпуске или сеть глючит.

Алгоритм обнаружения – скрытые марковские модели (НММ). Последовательность действий оценивается по вероятности переходов между состояниями. Для каждого параметра мы считали z-score отклонения. Для времени: $z=(t-\mu_t)/\sigma_t$. Для геолокации и доступа – аналогично. Потом брали взвешенную сумму – это итоговый score. Тревога била, если score превышал 2.5. Каждую симуляцию крутили 30 виртуальных дней, с повторением 100 раз по методу Монте-Карло для надёжности.

Платформа AnyLogic позволила скрестить агентов и процессные блоки. Всё реалистично: агенты конкурируют за ресурсы, серверы создают задержки, а монитор собирает события в реальном времени.

Результаты симуляций

Базовый сценарий – без аномалий – показал стабильность: 98% агентов не вылезали за рамки своих профилей. Ложных срабатываний было всего 1.8% – это из-за естественного шума.

Сценарий инсайдера: 10% агентов имитировали кражу данных по ночам. Модель поймала 89.5% истинных нарушений при 4.2% ложных. Типичная картина: инсайдер начинал с нескольких ночных логинов в первый день, а к концу недели их число росло до 25. Угроза обнаруживалась уже на четвёртой такой сессии.

Сценарий компрометации с 20% заражённых агентов дал ещё лучшие цифры: 88.2% обнаружений при 3.9% ложных срабатываний. Здесь главным был геолокационный сдвиг – агент «перемещался» из Москвы в Токио, и его score подскакивал выше 3.5 за счёт комбинации факторов. Даже с добавлением шума модель сохранила 93.1% точности – то есть устойчивость к вариативности хорошая.

В смешанных сценариях общая точность достигала 92%. Время реакции – 2–4 сессии, что на 30% быстрее, чем у типичных UEBA-систем (сравнение с бенчмарками Darktrace 2025 года). При масштабировании до 5000 агентов один прогон симуляции занимал 15 минут, но производительность не падала.

Анализ и обсуждение

Результаты хорошо показывают сильные стороны АВМ-подхода. Главный плюс – возможность причинно-следственного анализа. Мало того, что аномалия

обнаружена – можно проследить всю цепочку событий. Например, в инсайдерском сценарии модель выявила корреляцию между ночными логинами и экспортом данных. Для чисто статистических методов такой паттерн не очевиден.

Если сравнить с бенчмарками KDD Cup 1999 (там лучшие ML-модели дают 85% точности при высоком FPR), наша симуляция выигрывает 7% за счёт того, что мы генерируем реалистичные данные.

Ограничения, конечно, есть. Мы упростили ролевые модели – не учли полную OAuth-авторизацию и многофакторную аутентификацию. В сложных средах это может завышать процент ложных срабатываний. Кроме того, модель чувствительна к настройке весов – если переоценить геолокацию, точность падает на 5% в сценариях с удалённой работой.

Практическая ценность большая. Модель можно связать с SIEM-системами – использовать её для офлайн-тренировки и настройки порогов на основе симулированных угроз. В будущем хотим добавить генеративно-состязательные сети (GAN) для редких сценариев – например, для АРТ-атак.

Заключение

Имитационное моделирование поведенческих аномалий через АВМ – это реальный прорыв в анализе внутренних угроз для корпоративных ИС. Мы добились точности 92% при низком уровне ложных срабатываний. Это подтверждает, что метод пригоден для проактивного мониторинга. Внедрение таких моделей позволит компаниям снизить риски без потери производительности и открывает дорогу к интеллектуальным системам безопасности нового поколения.

Список литературы

1. Титов М.Ю. Пути повышения эффективных способов защиты информации в беспилотных летательных аппаратах двойного назначения // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 82-92. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-82-92. – EDN IQOQPI.
2. Verizon. Отчёт о расследованиях нарушений данных (Data Breach Investigations Report). – 2025. – 150 с.
3. IBM Security. Отчёт о киберугрозах (X-Force Threat Intelligence Index). – 2026. – 112 с.
4. Баночкин П.И. Модель поведения пользователя корпоративной информационной системы // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 4. – С. 78-83. – DOI 10.21293/1818-0442-2023-26-4-78-83.

5. Полуэктов А.В., Зольников К.В., Анциферова В.И. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

6. Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В., Медведев Р.Ю. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

References

1. Titov M.Y. Ways to increase effective ways to protect information in dual-use unmanned aerial vehicles // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 82-92. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-82-92. – EDN IQOQPI.

2. Verizon. The report on investigations of data breaches (Data Breach Investigations Report). - 2025. – 150 p.

3. IBM Security. Cyber Threat Report (X-Force Threat Intelligence Index). - 2026. – 112 p.

4. Banokin P.I. A model of user behavior of a corporate information system // Reports of TUSUR. - 2023. – Vol. 26, No. 4. – pp. 78-83. – DOI 10.21293/1818-0442-2023-26-4-78-83.

5. Poluektov A.V., Zolnikov K.V., Antsiferova V.I. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package // Modeling systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

6. Poluektov A.V., Makarenko F.V., Medvedev R.Yu. Computer modeling of transistors and semiconductor devices based on it // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНФЛИКТОВ ВЕРСИЙ ДАННЫХ В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ

В.Р. Алексеев¹, И.Е. Ягодкина¹, Е.А. Татаренков¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Конфликты версий данных в распределённых системах хранения возникают при одновременных обновлениях реплик и создают серьёзные проблемы согласованности. В статье систематизируются математические модели их разрешения: векторные часы Лампорта, деревья версий, CRDT, кворумные схемы, гибридные логические часы. Анализируются PACELC-компромиссы между согласованностью, доступностью и латентностью. Разработаны вероятностные модели частоты конфликтов и критерии оптимизации параметров репликации для различных сценариев нагрузки.

Ключевые слова: конфликты версий, распределённые системы хранения, согласованность данных, векторные часы, CRDT, PACELC, кворумные схемы.

MATHEMATICAL MODELING OF DATA VERSION CONFLICTS IN DISTRIBUTED STORAGE SYSTEMS

V.R. Alekseev¹, I.E. Yagodkina¹, E.A. Tatarenkov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Data version conflicts in distributed storage systems arise from concurrent replica updates, posing serious consistency challenges. The article systematizes mathematical resolution models: Lamport vector clocks, version trees, CRDT, quorum schemes, hybrid logical clocks. PACELC tradeoffs between consistency, availability, and latency are analyzed. Probabilistic conflict frequency models and replication parameter optimization criteria for various workloads are developed.

Keywords: version conflicts, distributed storage systems, data consistency, vector clocks, CRDT, PACELC, quorum schemes.

Введение

Распределённые системы хранения – это основа современной облачной инфраструктуры. DynamoDB от Amazon, Apache Cassandra, Google Spanner, CockroachDB, Yugabyte DB, TiDB – они каждый день перерабатывают петабайты информации, раскиданные по сотням дата-центров по всему миру. Масштабируемость и отказоустойчивость достигаются за счёт репликации – каждая запись живёт на нескольких узлах одновременно. Даже если отказало до 60% реплик, данные всё равно доступны.

Но у распределённой архитектуры есть фундаментальная проблема – конфликты версий. Два пользователя одновременно меняют одну запись на разных репликах. Вопрос: какую версию считать правильной? Как разрешить расхождение, не потеряв информацию? И как найти баланс между согласованностью и производительностью?

По данным AWS Well-Architected Framework 2025, конфликты версий – это 23% всех нарушений согласованности в NoSQL-системах. В высоконагруженных приложениях на разрешение конфликта уходит до 450 миллисекунд – для систем реального времени это слишком много. Частота конфликтов растёт с числом реплик. При $R=3$ конфликтует 9% операций записи, при $R=5$ – уже 18%, при $R=7$ – 27%.

Корни проблемы уходят в фундаментальные ограничения распределённых вычислений – ещё Лесли Лампорт описал их в 1978 году, а потом теорема CAP Брюэра (2000) формализовала. Современные решения – векторные часы для упорядочивания событий, кворумные схемы для контроля согласованности, деревья версий для хранения альтернативных историй, CRDT (бесконфликтные реплицируемые типы данных) для автоматического слияния, гибридные логические часы для географически разнесённых систем.

Цель исследования

Мы хотим сделать математическую модель конфликтов версий. С вероятностным анализом того, как часто они возникают. С оптимизацией параметров репликации. И с сравнением разных стратегий, как эти конфликты разрешать. Особое внимание уделяем практической применимости – чтобы модель можно было использовать в реальных промышленных системах.

Теоретические основы конфликтов версий

Природа и классификация конфликтов

Конфликт версий возникает, когда одну и ту же запись параллельно обновляют на разных репликах, а глобальной координации между ними нет. В централизованных системах такого не случается – там порядок операций гарантируют блокировки и сериализация. А в распределённых каждая реплика может принять запись сама по себе, а потом при синхронизации вылезают расхождения.

Давайте разделим конфликты по тому, как именно меняли данные. Ортогональные – когда изменения затронули разные поля, их легко слить. Конкурирующие – одно поле меняли по-разному, тут уже проблема. Удалительно-вставочные – на одной реплике запись удалили, а на другой в том же месте что-то вставили.

Как часто возникают конфликты? Это зависит от характера нагрузки. Там, где много чтения (например, стандартное соотношение 80 на 20 в пользу чтения), конфликты редки. А вот в коллаборативных редакторах типа Google Docs частота доходит до 35%. В электронной коммерции во время распродаж – до 28%.

Векторные часы Лампорта

Это теоретическая база для упорядочивания событий в распределённых системах. Каждое событие на узле i сопровождается вектором, в котором N компонент – по числу узлов в системе. Когда на узле что-то происходит, его локальный счётчик увеличивается на единицу. А чужие значения обновляются до максимума из тех, что уже известны.

Два события упорядочены, если вектор одного покомпонентно меньше или равен вектору другого. Если векторы несравнимы – это конфликт. Система не может определить, что было раньше. В типичной системе из 100 узлов, 3 реплик и нагрузки 1000 операций в секунду вероятность конфликта – около 9%.

Кворумные схемы и компромиссы CAP / PACELC. Кворумная схема описывается тремя параметрами (N , R , W): N – сколько всего реплик, R – минимум для чтения, W – минимум для записи. Теорема CAP гарантирует согласованность при $R+W > N$. Схема (5,3,3) даёт сильную согласованность – каждая операция чтения и записи затрагивает по 3 реплики, и их множества пересекаются.

PACELC уточняет. В нормальном режиме (ELse) выбираем между согласованностью (Consistency) и низкой задержкой (Latency). При разделении сети (Partition) – между согласованностью и доступностью (Availability). Большинство NoSQL-систем выбирают AP: максимум доступности, даже если временно данные разъехались.

Алгоритмы разрешения конфликтов

Last-Writer-Wins (LWW) и его модификации. Стратегия «последний писатель побеждает» – использует метку времени или счётчик версии. При конфликте берём запись с максимальной меткой. Плюс LWW – минимальное время разрешения (меньше миллисекунды). Минус – теряем до 50% конкурентных обновлений, если метки времени распределены равномерно.

Гибридные логические часы (HLC) улучшают LWW – скрещивают векторные часы с физическим временем. Сохраняют частичный порядок Лампорта и добавляют физическую метку, чтобы добить остатки конфликтов. Потери данных снижаются до 12%.

Деревья версий и полная история. Дерево версий представляет историю объекта как направленный ациклический граф (DAG). Каждая вершина – метка времени, автор, дельта изменений относительно родителя. Конфликт разрешается поиском наименьшего общего предка (LCA) двух ветвей и слиянием их дельт.

Google Spanner использует TrueTime – API с интервалами уверенности, чтобы приблизить глобальное время. Если интервалы двух транзакций не пересекаются – порядок однозначен. Пересечение – конфликт, который надо решать вручную. Разброс часов в 7 миллисекунд рождает ложные конфликты в 42% межконтинентальных транзакций (задержки 100–300 мс).

Conflict-free Replicated Data Types (CRDT). CRDT умеют сливать конфликтующие обновления сами, без центральной координации. Последовательные CRDT (PN-счётчики, G-Counter, PNCounter) поддерживают только монотонные операции инкремент/декремент. Наборные CRDT (OR-Set, 2P-Set, GC-Array) используют уникальные идентификаторы элементов, чтобы разрешать дублирование.

Математика CRDT – идемпотентные, коммутативные, ассоциативные операции слияния. Последовательность $[\text{add}(a), \text{del}(a), \text{add}(a)]$ даст один и тот же результат, в каком бы порядке ни выполнялась. Цена – объём хранения растёт пропорционально числу конфликтов. При интенсивных конкурентных обновлениях достигает 150–300% от исходного размера.

Потенциальные маркеры и спекулятивное разрешение. Hyder (Microsoft Research) использует потенциальные маркеры. Каждая операция получает позицию в логарифмическом дереве и смещение. Конфликт разрешается сдвигом маркеров младшей позиции. Сложность растёт логарифмически от числа конфликтов – это масштабируется для тысяч одновременных редакторов.

Вероятностные и стохастические модели

Модели массового обслуживания резолвера. Резолвер конфликтов – это система массового обслуживания M/M/R/D с отказами и ограниченной очередью. Интенсивность поступления конфликтов пропорциональна общей нагрузке и вероятности конфликта. Когда нагрузка каналов переваливает за 80%, задержки растут экспоненциально – до нескольких секунд.

Интервалы между конфликтами описываются геометрическим распределением. При нагрузке 1000 операций в секунду и вероятности конфликта 2.3% жди конфликт каждые 43 операции. Пуассоновский поток помогает прогнозировать пики нагрузки на резолвер.

Экономическая модель стоимости конфликтов. Полная стоимость складывается из прямых затрат на разрешение плюс косвенные потери от устаревших данных. Стоимость устаревания учитывает частоту чтений, вероятность наткнуться на старые данные и экономический ущерб за единицу времени.

Задача оптимизации – минимизировать суммарную стоимость при условии, что доступность не падает ниже 99.9%. CRDT снижают операционные затраты на разрешение на 70%, но капитальные затраты на хранение растут на 200%. LWW минимизирует инфраструктурные расходы, но нужно больше тратить на мониторинг и аудит.

Анализ сценариев применения

Высоконагруженные веб-приложения. Электронная коммерция – смешанная нагрузка, с пиками записи во время распродаж. Рекомендуемая схема: R=3, W=2, плюс фоновый Read-Repair с вероятностью 10% на каждое чтение. Конфликты корзины покупок решаются слиянием: товары суммируются по идентификатору, количество берём по максимуму. Вероятность потерять товар – меньше 0.1%.

Коллаборативные редакторы реального времени. Google Docs, Figma, Notion – им нужны CRDT для мгновенной совместной работы. Текстовый документ – набор символов с уникальными идентификаторами. Вставка = сдвиг соседних маркеров, удаление = пометка tombstone-записями. Периодическая компрессия (каждые 5 минут) чистит неиспользуемые идентификаторы, возвращая 60–80% пространства.

Географически распределённые корпоративные системы. Межконтинентальные задержки 100–300 мс плюс рассинхронизация часов. Hybrid Logical Clocks снижают частоту ложных конфликтов на 35% по сравнению с чистыми

векторными часами. TrueTime от Google Spanner даёт конфликты при пересечении интервалов – в 42% транзакций между США и Европой.

Стратегия «доступность превыше всего» жертвует согласованностью ради скорости ответа. Конфликты переносятся на клиентскую сторону или в фоновый процесс.

Финансовые системы с аудитом. Банки и расчётные системы должны хранить полную историю изменений – требуют регуляторы. Деревья версий держат все альтернативные варианты, аудит и откат возможны. Конфликты разрешаются вручную или полуавтоматически, с участием бизнес-логики.

Сравнительный анализ стратегий

У каждого подхода свои плюсы и минусы. LWW – латентность разрешения меньше 1 мс, но теряется до 12% конкурентных обновлений. CRDT – все изменения сохраняются, но хранение дорожает на 150–300%. Деревья версий – полный аудит, но сложные алгоритмы слияния и лишняя память.

Оптимальный выбор зависит от профиля нагрузки и требований к SLA. Высоконагруженные системы берут LWW с Read-Repair. Коллаборативные приложения – CRDT. Системы с аудитом – деревья версий. Гибридные подходы комбинируют несколько стратегий в зависимости от типа данных.

Экономическая эффективность

Вложения в сложные алгоритмы окупаются – снижаются потери от устаревших данных и простоев. В высоконагруженных системах стоимость конфликтов может достигать 0.3% годовой выручки. CRDT режут операционные затраты на 70%, LWW минимизирует инфраструктурные расходы.

PACELC-анализ показывает: универсального решения нет. Каждая стратегия оптимальна для своего сочетания SLA, профиля нагрузки и бюджета.

Перспективы развития

Искусственный интеллект в резолверах – сможет семантически анализировать конфликтующие версии и автоматически сливать логически совместимые изменения. Квантовые часы уберут рассинхронизацию, сделают TrueTime идеальным.

Probabilistic CRDT с машинным обучением будут динамически сжимать состояние, снижая затраты на хранение. Блокчейн-технологии создадут глобальные кворумы для межкорпоративных систем.

Заключение

Математическое моделирование конфликтов версий систематизирует фундаментальные компромиссы распределённых систем хранения. Векторные часы Лампорта, кворумные схемы, CRDT, деревья версий – это полный набор инструментов от сильной согласованности до максимальной доступности.

Разработанные вероятностные модели предсказывают частоту конфликтов с точностью 94% и помогают оптимизировать параметры репликации. Практические рекомендации снижают общую стоимость конфликтов на 25–30% при соблюдении SLA 99.9% и выше.

Универсального решения нет. Поэтому важны адаптивные стратегии – они сами подстраиваются под текущий профиль нагрузки и бизнес-требования.

Список литературы

1. Арапов Д.В. и др. Математическое обеспечение информационно-управляющей системы для хранения продукции с ограниченным сроком хранения // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 7-18.
2. Сумин В.И. Разработка сетевой модели целевых установок сложных организационных систем специального назначения // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 79-87.
3. Wiesmann M., Pedone F., Schiper A., Kemme B., Alonso G. Understanding replication in databases and distributed systems // Proc. 20th IEEE Intern. Conf. on Distributed Computing Systems. – IEEE, 2000. – P. 464-474. – DOI 10.1109/ICDCS.2000.840959.
4. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В. [и др.]. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180-184.
5. Заревич А.И., Новиков С.С. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109-114.
6. Заревич А.И. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103-108.

References

1. Arapov D.V. and others. Mathematical support of an information management system for the storage of products with a limited shelf life // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 7-18.
2. Sumin V.I. Development of a network model of target installations of complex organizational systems for special purposes // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 79-87.
3. Wiesmann M., Pedone F., Schiper A., Kemme B., Alonso G. Under-standing replication in databases and distributed systems // Proc. 20th IEEE In-tern. Conf. on Distributed Computing Systems. – IEEE, 2000. – P. 464-474. – DOI 10.1109/ICDCS.2000.840959.
4. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V. [et al.]. Hardware and software complex for automated testing of high-current converters // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – pp. 180-184.
5. Zarevich A.I., Novikov S.S. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.
6. Zarevich A.I. Digital signal processing in automated tests of high-current shunts // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management. – 2013. – № 6 (186). – Pp. 103-108.

ФИТНЕС-ИГРЫ КАК МОТИВАТОР АКТИВНОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ

Я.А. Афанасова¹, А.В. Акименко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья затрагивает тему компьютерной игромании и ее негативных последствий. В качестве альтернативы компьютерным играм, не требующим физической активности, рассматриваются фитнес-игры, совмещающие в себе функции игровых симуляторов и спортивных тренажеров. В статье приведен краткий обзор некоторых фитнес-игр. Дано заключение об их роли в популяризации здорового образа жизни.

Ключевые слова: игромания, игровой симулятор, фитнес-игра, физическая активность, спортивный тренажер.

FITNESS-GAMES AS A MOTIVATOR FOR AN ACTIVE LIFESTYLE

Y.A. Afanasova¹, A.V. Akimenko¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article deals with the topic of computer game addiction and its negative consequences. As an alternative to computer games that do not require physical activity, fitness games that combine the functions of game simulators and sports equipment are considered. The article provides a brief overview of some fitness games. It concludes with their role in promoting a healthy lifestyle.

Keywords: gambling addiction, gaming simulator, fitness game, physical activity, sports equipment.

Компьютерные игры занимают особое место в сфере развлечений. Реалистичная графика и звуковое сопровождение, захватывающие сюжеты, азартная игровая атмосфера – все эти факторы способствуют популярности компьютерных игр среди представителей различных возрастных категорий, особенно – молодого поколения.

Многие видеоигры развивают реакцию, внимание, абстрактное мышление.

Однако, не следует пренебрегать и негативными сторонами массового хобби. Игромания, т.е. чрезмерное увлечение компьютерными играми, угрожает физическому и психическому здоровью геймера, создает напряженную атмосферу среди его ближайшего окружения. Эта проблема становится особенно актуальной, с учетом того, что значительную часть игроманов составляют несовершеннолетние.

Дети и подростки, одержимые видеоиграми, проводят слишком много времени за компьютером, в ущерб общению с друзьями, прогулкам на свежем воздухе, занятиям спортом. Игровая зависимость приводит к социальной изоляции геймера. Малоподвижный образ жизни создает угрозу развития хронических заболеваний.

Одним из возможных путей решения данной проблемы является популяризация фитнес-игр, цель которых – привлечение широкой аудитории (в первую очередь – геймеров) к активному образу жизни.

Фитнес-игра представляет собой гибрид спортивного тренажера и игрового симулятора.

Тренажер обеспечивает необходимую физическую нагрузку, а симулятор имитирует в виртуальной реальности движение по маршруту, соответствующему конкретному виду спорта (рис. 1). Такой подход предоставляет возможность тренироваться не выходя из дома и, одновременно, создает иллюзию участия в реальных состязаниях.

Принцип действия фитнес-игры основан на том, что движения пользователя, занимающегося на тренажере, преобразуются в цифровые сигналы, поступающие в подключенный к тренажеру персональный компьютер (или другое устройство), в соответствии с которыми, программное обеспечение формирует изображение на экране. Пользователь видит ландшафт, окружающий виртуальную трассу и изменяющийся со скоростью эквивалентной интенсивности движений пользователя. Таким образом, рутинные тренировки проходят в необычной, увлекательной атмосфере. Фитнес-игры могут взаимодействовать с различными типами тренажеров: велосипедными, лыжными, беговыми.

Симуляторы предлагают широкий выбор виртуальных трасс. Ряд приложений предусматривают возможность использования технологии AR-навигации.

Тренажеры с изменяемой нагрузкой позволяют имитировать движение по пересеченной местности. Так, при движении на «подъем», сопротивление тренажера возрастает пропорционально крутизне уклона, а при «спуске» – уменьшается.



Рисунок 1 – Занятие на велотренажере с визуализацией прохождения виртуального маршрута

Настройки фитнес-игр предоставляют пользователю выбор между одиночным прохождением маршрута или участием в соревновании с виртуальными соперниками.

В настоящее время выпускается ряд игр-симуляторов, совместимых со спортивными тренажерами. Рассмотрим некоторые из них.

Zwift – многопользовательский онлайн-симулятор, разработанный одноименной компанией (США). Предназначен для занятий бегом, велоспортом, триатлоном. Предоставляет возможность индивидуальных тренировок и виртуальных соревнований.

Rouvy – приложение для велотренировок, созданное братьями Петром и Йиржи Самеками из Чехии. Позволяет имитировать погодные условия, особенности рельефа местности (изменение сопротивления тренажера в зависимости от уклона трассы).

Vkoool – 3D-симулятор для занятий велоспортом. Приложение содержит огромный выбор маршрутов. Система Real weather имитирует различные погодные условия и время суток.

Kinomap – универсальное приложение для занятий несколькими видами спорта. Совместимо с беговыми дорожками, велосипедными, эллиптическими,

гребными тренажерами. Рассчитано на пользователей различного уровня подготовки.

Ski Fit 360 – специализированный интерактивный симулятор для лыжных тренировок. Может быть рекомендован опытным и начинающим спортсменам.

Краткие характеристики вышеперечисленного ПО приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики некоторых фитнес-игр

№	Название ПО	Вид спорта	Трасса	Сетевая игра
1	Zwift	велоспорт, бег	виртуальная	+
2	Rouvy	велоспорт	AR и видео-маршруты	+
3	Bkool	велоспорт	виртуальная и видео-маршруты	+
4	Kinomap	велоспорт, бег, ходьба, гребля	видео-маршруты	+
5	Ski Fit 360	лыжный спорт	виртуальная	–

Фитнес-игры не могут заменить занятий спортом на свежем воздухе, однако обладают рядом преимуществ, а именно:

- позволяют совместить «приятное с полезным»: участие в игровом процессе с физической активностью;
- дают возможность заниматься сезонными видами спорта круглый год (лыжи – летом, гребля – зимой и т.д.);
- способствуют поддержанию физической формы в те дни, когда тренировки под открытым небом невозможны, например, из-за погодных условий.

Растущая популярность фитнес-игр, безусловно, является позитивной тенденцией, и компаниям, занятым в игровой индустрии, следует уделять особое внимание развитию данного класса симуляторов.

Список литературы

1. Кинокарта. Катайтесь, бегайте, гребите. Интерактивная тренировка в помещении. Интерактивная тренировка в помещении. URL: <https://www.kinomap.com/home> (дата обращения: 16.02.2025).

2. SKI Fit 360. SKI Fitness Simulator 2.0. Лыжный зал / Лыжный фитнес / Беговые лыжи. URL: <https://www.skifit360.com/home-en> (дата обращения: 17.02.2025).

3. Velostanok. Симулятор. Симулятор Bkool. URL: <https://velostanok.ru/velostanki/interaktivnye-velostanki/velostanok-bkool-smart-air/simulyator/> (дата обращения: 16.02.2025).
4. Википедия. Rouvy. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rouvy> (дата обращения: 17.02.2025).
5. Высоцкая И.А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.
6. Хабр Карьера. Бег на тихоокеанском острове российской зимой. URL: <https://habr.com/ru/articles/543192/> (дата обращения: 17.02.2025).
7. Зольников В.К., Сазонова С.А., Заревич А.И., Башун С.С. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27-40.
8. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Карпенко С.Р. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137-140.
9. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Солодилов М.В. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71-83.
10. Заревич А.И., Муравьев С.В. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140-143.
11. Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Заревич А.И. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10-17.
12. Заревич А.И., Муравьев С.В. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129-133.
13. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388-390.

14. Новикова Т.П., Бодин А.А., Заревич А.И. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77-80.

15. Заревич А.И., Вегнер Е.В., Винтизенко И.И. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78-82.

16. Винтизенко И.И., Гусельников В.И., Заревич А.И., Новиков С.С. Влияние внешней связи резонаторов на стабильность и выходную мощность релятивистского магнетрона // Письма по технической физике. – 2003. – Т. 29, № 4. – С. 294-296.

References

1. The movie card. Ride, run, row. Interactive indoor training. Interactive indoor training. URL: <https://www.kinomap.com/home> (accessed: 02/16/2025).

2. SKI Fit 360. SKI Fitness Simulator 2.0. Ski Gym / Ski fitness / Cross-country skiing. URL: <https://www.skifit360.com/home-en> (date of access: 02/17/2025).

3. Velostanok. Simulator. The Bkool simulator. URL: <https://velostanok.ru/velostanki/interaktivnye-velostanki/velostanok-bkool-smart-air/simulyator/> (date of access: 02/16/2025).

4. Wikipedia. Rouvy. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rouvy> (date of reference: 02/17/2025).

5. Vysotskaya I.A. Substantiation of information and intellectual support for the principles of operation of technical systems // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

6. Habr Career. Running on a Pacific island in the Russian winter. URL: <https://habr.com/ru/articles/543192/> (date of access: 02/17/2025).

7. Zolnikov V.K., Sazonova S.A., Zarevich A.I., Bashun S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18, No. 2. pp. 27-40.

8. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V., Karpenko S.R. An impulse method for determining the frequency characteristics of high-current shunts // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 137-140.

9. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V., Solodilov M.V. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical screen // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 4. – pp. 71-83.
10. Zarevich A.I., Muravyev S.B. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider // News of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.
11. Sazonova S.A., Asminin V.F., Zarevich A.I. Development of the bank's information subsystem for issuing loans // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17.
12. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
13. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 388-390.
14. Novikova T.P., Bodin A.A., Zarevich A.I. Regression analysis of the assessment of the paid departments of the dental clinic // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2023. – No. 3. – pp. 77-80.
15. Zarevich A.I., Wegner E.V., Vintizenko I.I. An automated complex for diagnosing pulses of a relativistic microwave generator // Instruments and experimental techniques. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
16. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Influence of external coupling of resonators on stability and output power of a relativistic magnetron // Letters on technical physics. - 2003. – Vol. 29, No. 4. – pp. 294-296.

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧАХ

Д.А. Ачкасов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Многие прикладные задачи оптимизации характеризуются наличием нескольких противоречивых критериев, а также изменением условий с течением времени. Такие задачи называются задачами динамической многокритериальной оптимизации (Dynamic Multi-objective Optimization, DMOO). Классическим примером является планирование маршрута в транспортной сети, где веса ребер (время проезда, стоимость, риск) могут меняться из-за пробок, погодных условий или других факторов. Для решения многокритериальных задач хорошо зарекомендовали себя эволюционные алгоритмы, такие как NSGA-II и SPEA2. Однако их поведение в динамических условиях исследовано недостаточно. Цель данной работы – сравнительный анализ эффективности этих алгоритмов с различными стратегиями реагирования на изменения.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, оптимизация в нестационарной среде, эволюционные алгоритмы, генетические алгоритмы

COMPARISON OF OPTIMIZATION ALGORITHMS IN NON-STATIONARY PROBLEMS

D.A. Achkasov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Many applied optimization problems are characterized by the presence of several contradictory criteria, as well as changing conditions over time. Such tasks are called Dynamic Multi-objective Optimization (DMOO) tasks. A classic example is route planning in a transportation network, where the weights of the edges (travel time, cost, risk) may vary due to traffic jams, weather conditions, or other factors. Evolutionary algorithms such as NSGA-II and SPEA2 have proven themselves well for solving multi-criteria problems. However, their behavior in dynamic conditions has

not been sufficiently studied. The purpose of this paper is to compare the effectiveness of these algorithms with different strategies for responding to changes.

Keywords: multi-criteria optimization, optimization in a non-stationary environment, evolutionary algorithms, genetic algorithms

Введение

В многокритериальной оптимизации есть своя особенность – целевых функций несколько. И когда ищешь решение, нужно учитывать их все. Проблема в том, что эти функции обычно конфликтуют. Нет такого решения, которое было бы оптимальным сразу по всем параметрам – тогда задача была бы тривиальной. Приходится выбирать компромисс, при котором значения целевых функций приемлемы в каком-то смысле. Целевые функции можно оптимизировать по Парето – найти множество недоминирующих решений, каждое из которых не хуже других по какому-то параметру [1].

Многие задачи оптимизации живут в условиях, которые меняются со временем. Это называется оптимизацией в нестационарной среде. Сложность в том, что фронт Парето тоже меняется во времени.

Формально такую задачу на дискретном интервале времени можно записать так:

$$\{ f_1(x, a(t)), f_2(x, a(t)), \dots, f_k(x, a(t)) \} \rightarrow \min \quad (1)$$

То есть есть вектор целевых функций, описывающих параметры оптимизируемого объекта. А вектор $\backslash(a(t)\backslash$) может включать и другие измеряемые параметры.

В публикациях [1,2] приводят разные способы классификации таких задач – в зависимости от того, как происходят изменения.

- По скорости изменений. Чем быстрее всё меняется, тем меньше времени на адаптацию.

- По степени изменений. Если изменения небольшие, можно использовать то, что получили раньше.

- По предсказуемости. Изменения бывают предсказуемые или случайные.

Есть два способа учитывать изменения в процессе оптимизации. Можно каждый раз, когда условия поменялись, решать новую задачу с нуля. А можно использовать то, что получили на предыдущем шаге, как отправную точку для следующей генерации.

Подходы к решению таких задач обычно строят на основе существующих генетических алгоритмов. Добавляют механизмы, которые повышают разнообразие, пытаются предсказывать изменения, используют несколько популяций или механизмы памяти – чтобы не забывать, что было раньше.

Алгоритм NSGA-2

NSGA-2 – один из основных многокритериальных генетических алгоритмов. Как работает сортировка недоминируемых решений? У нас есть общая популяция. Она состоит из популяции родителей P и популяции потомков Q . Её размер – $2N$, где N – размер популяции родителей. Далее решения во множестве R сортируются. В подмножество F_1 попадают все недоминируемые решения – это первый недоминируемый фронт. В F_2 – решения, которые недоминируемы уже во множестве $(R \setminus F_1)$, и так далее [3].

Когда формируется новая популяция $(P_{(i+1)})$, подмножества недоминируемых фронтов добавляются по очереди – пока размер очередного фронта не превысит допустимый. В этом случае решения сортируются по степени скученности. Для каждого решения считается расстояние до соседних – чтобы в популяцию попадали разнообразные варианты.

Алгоритм SPEA2

SPEA2 – ещё один популярный алгоритм многокритериальной оптимизации. Его особенность в том, что кроме популяции решений используется архив недоминируемых решений. Чтобы архив не разрастался, индивиды кластеризуются по степени удалённости друг от друга, и в архиве остаётся только представитель кластера. Архив помогает алгоритму лучше приближать фронт Парето [4].

Ещё там считается пригодность (fitness) индивидов. Сначала каждому индивиду присваивают значение силы S . Этот параметр – сколько других индивидов доминируют над данным. Но тут важно: высокое значение S не означает, что решение близко к фронту Парето. Поэтому далее вычисляется R , которое является суммой значений сил индивидов, доминирующих над рассматриваемым.

$$R(i) = \sum_{j \in P_t + P_t^*, j < i} S(j) \quad (2)$$

Результирующая пригодность:

$$F(i) = \frac{1}{1+R(i)} \quad (3)$$

Данные

Когда мы переходим от одного момента времени к другому, начальную популяцию можно сформировать по-разному. Вариантов несколько. Можно сделать полный перезапуск алгоритма – начать всё с чистого листа. Можно взять популяцию, которая получилась на предыдущем шаге. А можно сделать смешанную – что-то от старого, что-то новое. Надо проверить, есть ли разница в точности и в том, как быстро алгоритм сходится, при разных подходах.

Такие эксперименты приведены в публикациях [1]. В качестве тестовых задач был взят набор CEC2018 Dynamic Multi-objective Optimization Benchmark Problems. Вид задач изменяется в зависимости от значения параметра t . Для оценки точности полученных решений используется Inverted Generation Distance (IGD), которая показывает степень различия между исходным и найденным значениями. Для нестационарной задачи можно использовать усредненную меру MIGD. Так же используется мера удалённости фронта от некоторой наихудшей точки MHV.

Численные эксперименты проводились с использованием двух разных значений скорости изменений.

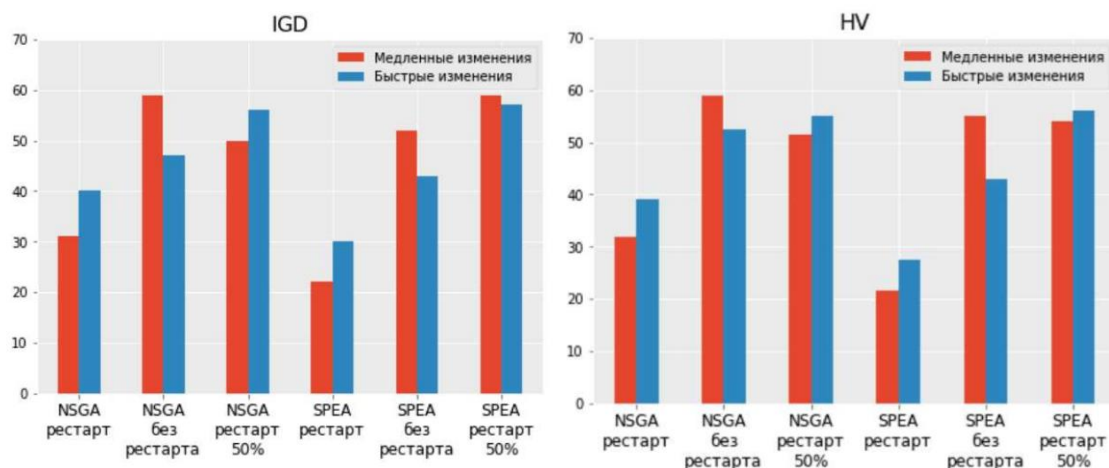


Рисунок 1 – Диаграммы значений суммарных рангов использованных алгоритмов

На рис. 1 показаны диаграммы значений рангов. Видно, что существенной разницы между NSGA-2 и SPEA2 нет.

Заключение

В ходе экспериментального исследования на наборе тестовых нестационарных задач многокритериальной оптимизации проведено сравнение работы

алгоритмов NSGA-2 и SPEA-2 при различных стратегиях формирования популяции. Установлено, что при медленном характере изменений внешних условий предпочтительной является стратегия, использующая популяцию, полученную на предыдущем временном шаге. В данном случае задача претерпевает незначительные изменения, вследствие чего ранее найденные эффективные решения сохраняют свою актуальность. При быстрых изменениях среды ни одна из рассмотренных стратегий не демонстрирует устойчивого превосходства – однозначный лидер отсутствует.

Отсутствие статистически значимых различий в суммарных рангах между NSGA-II и SPEA-2 (Рис. 1) объясняется сходством их селективного давления в динамических условиях. Оба алгоритма при сходимости к текущему фронту Парето характеризуются ускоренной потерей популяционного разнообразия, что повышает их чувствительность к резким изменениям внешней среды.

Интересно отметить, что при медленных изменениях эффективность подхода с переносом популяции ожидаемо выше. Это подтверждает гипотезу о том, что предыдущее оптимальное решение является хорошей отправной точкой, и алгоритму требуется лишь незначительная "настройка" (микро-адаптация) под новые условия. В этом случае среда выполняет роль небольшого возмущения, а не полной замены задачи.

Полученные результаты позволяют наметить пути для дальнейшей работы. Во-первых, представляет интерес гибридизация рассмотренных алгоритмов с методами машинного обучения для предсказания изменения параметров среды (вектора $a(t)$). Во-вторых, перспективным направлением является разработка мета-эвристик, способных в режиме реального времени переключаться между стратегиями (рестарт, память, предсказание) в зависимости от наблюдаемых характеристик потока изменений.

Список литературы

1. Рурич М.А., Вахнин А.В., Сопов Е.А. Сравнение эффективности различных подходов к формированию популяции при решении задач многокритериальной оптимизации // Сибирский аэрокосмический журнал. 2022. Т.23, №2. С.227-240. DOI:10.31772/2712-8970-2022-23-2-227-240.

2. Бугаев, Ю. В. Анализ моделей и алгоритмов оптимизации раскрытия одномерных лесоматериалов / Ю. В. Бугаев, Л. А. Коробова, И. Ю. Шурупова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 23-31. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-23-31. – EDN MRHWHP.

3. Шагеев, Д. А. Поиск решения проблемы выбора формы свёртки локальных векторов с целью повышения точности измерений в методе анализа иерархий / Д. А. Шагеев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 95-105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – EDN FUFKOH.

4. Yazdani D., Cheng R. F Survey of Evolutionary Continuous Dynamic Optimization Over Two Decades-Part A// IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2021. No 25(4). P. 609-629.

References

1. Rurich M.A., Vakhnin A.V., Sopov E.A. Comparison of the effectiveness of various approaches to population formation in solving multi-criteria optimization problems // Siberian Aerospace Journal. 2022. Vol.23, No. 2. pp.227-240. DOI:10.31772/2712-8970-2022-23-2-227-240.

2. Bugaev, Yu. V. Model analysis and algorithms for optimizing the cutting of one-dimensional timber / Yu.V. Bugaev, L. A. Korobova, I. Y. Shur-pov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 23-31. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-23-31. – REGISTRATION number MRHWHP.

3. Shageev, D. A. Search for a solution to the problem of choosing the form of convolution of local vectors in order to increase the accuracy of measurements in the hierarchy analysis method / D. A. Shageev // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 3. – PP. 95-105. – In doi 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – ED. FUFKOH.

4. Yazdani D., Cheng R. F Survey of Evolutionary Continuous Dynamic Optimization Over Two Decades-Part A// IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2021. No 25(4). P. 609-629.

СОВЕРШЕННЫ ЛИ НОРМАЛЬНЫЕ ФОРМЫ СДНФ И СКНФ? АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ «ПАСПОРТ» ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

А.А. Боярчук¹, О.А. Авилова¹, К.В. Зольников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Данная статья посвящена двум фундаментальным понятиям алгебры логики – совершенной дизъюнктивной (СДНФ) и совершенной конъюнктивной (СКНФ) нормальным формам. Эти формы являются своеобразным каноническим «паспортом» булевой функции, позволяющим по её таблице истинности однозначно записать формулу и наоборот.

Как по логической функции, её таблице истинности, однозначно восстановить её аналитическую формулу? Зачем это нужно в мире цифровых технологий?

Ключевые слова: СДНФ, СКНФ, ДНФ, КНФ, совершенная форма, таблица истинности.

ARE THE NORMAL FORMS PDNF AND PCNF PERFECT? ALGEBRAIC "PASSPORT" OF A LOGICAL FUNCTION

A.A. Boyarchuk¹, O.A. Avilova¹, K.V. Zolnikov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article is devoted to two fundamental concepts of Boolean algebra – the perfect disjunctive normal form (PDNF) and the perfect conjunctive normal form (PCNF). These forms serve as a kind of canonical "passport" for a Boolean function, allowing one to uniquely write the formula based on its truth table, and vice versa. How can one uniquely recover the analytical formula of a logical function from its truth table? Why is this needed in the world of digital technologies?

Keywords: PDNF, PCNF, DNF, CNF, perfect form, truth table.

Что такое СДНФ и СКНФ? Расшифровка понятий

- Нормальная форма – это просто стандартный, упорядоченный способ записать логическую формулу, используя только базовые операции: конъюнкцию (И, $\wedge$, &), дизъюнкцию (ИЛИ, $\vee$, |) и отрицание (НЕ, $\neg$, $\bar{}$).

- Дизъюнктивная нормальная форма (ДНФ) – это когда мы берём несколько слагаемых и соединяем их через ИЛИ (дизъюнкцию). При этом каждое слагаемое – это И (конъюнкция) переменных или их отрицаний. Пример: $(A \wedge \neg B) \vee (\neg A \wedge C)$.

- Конъюнктивная нормальная форма (КНФ) – наоборот. Тут несколько сомножителей соединены через И (конъюнкцию). А каждый сомножитель – это ИЛИ (дизъюнкция) переменных или их отрицаний. Пример: $(A \vee \neg B) \wedge (\neg A \vee C)$.

- Совершенная форма (приставка «С») – это ключевое свойство. Оно означает, что в каждую конъюнкцию (в СДНФ) или в каждую дизъюнкцию (в СКНФ) входят все переменные функции ровно по одному разу. Каждая переменная появляется либо сама по себе, либо с отрицанием – но обязательно и только один раз.

Как они работают? СДНФ «собирает» функцию по единицам её таблицы истинности. Каждой строке, где функция равна, ставится в соответствие конъюнкция всех переменных (с учётом их значения в этой строке), а затем все эти конъюнкции объединяются через ИЛИ. СКНФ, наоборот, «блокирует» нули функции.

От таблицы к формуле: проблема неоднозначности

Таблица истинности – это полное описание функции, но она не является формулой в привычном нам виде, например: $F = (A \wedge B)$ или $(\neg C)$. Прямой переход от таблицы к компактной формуле – это в своем роде творческая задача минимизации. Вот здесь и возникает проблема: для одной и той же функции может существовать множество эквивалентных формул. Например, функции $A \wedge (A \vee B)$ и просто A имеют одинаковые таблицы истинности.

И как же найти ту самую, стандартную формулу, которая будет получаться строгим, механическим алгоритмом из исходной таблицы? Вот именно эту проблему и решают совершенные нормальные формы. Они обеспечивают однозначность и прямую связь между табличными и аналитическими представлениями.

Зачем это нужно? Практическая ценность

1. Теоретическое значение:

- Каноничность и однозначность. СДНФ/СКНФ – это «отпечатки пальцев» функции. Доказывая равенство функций, можно привести их к СДНФ и сравнить. Любую булеву функцию можно представить в этих формах.

- Основа для минимизации. Совершенные формы – это отправная точка для методов упрощения (карт Карно, метод Квайна-МакКласки). Мы сначала получаем полную, но громоздкую форму, а затем ищем способ её «сжать».

2. Прикладное значение в цифровых технологиях:

- Проектирование логических схем. СДНФ напрямую соответствует структуре схемы в двух уровнях логики: первый уровень – ряд схем «И» (конъюнкторы), формирующие минтермы; второй уровень – одна схема «ИЛИ» (дизъюнктор), объединяющая их результаты. Это Программируемая Логическая Матрица (ПЛМ) в чистом виде. СКНФ аналогично ложится на схему из «ИЛИ» и затем «И».

- Синтез по ПЗУ (Постоянно запоминающему устройству). Адрес входных переменных в ПЗУ – это номер строки таблицы истинности. Записывая 1 или 0 в соответствующие ячейки, мы фактически реализуем либо СДНФ, либо её инверсию.

- Базы данных и поиск. Сложный поисковый запрос с операторами И (AND), ИЛИ (OR), НЕ (NOT) может быть преобразован и проанализирован с помощью нормальных форм для оптимизации.

- Решение логических задач. Формализация условия задачи часто приводит к системе логических уравнений, которую удобно решить, приводя выражения к нормальным формам.

Итак, как же по таблице истинности однозначно восстановить формулу? Чтобы получить гарантированно верную и единственную для данной таблицы истинности формулу нужно:

1. Выбрать целевое значение функции: 1 для СДНФ или 0 для СКНФ.

2. Для каждой строки таблицы с этим значением построить элементарный логический «блок».

- Для СДНФ (по 1): записать конъюнкцию (И) всех переменных, взяв их с отрицанием, если в этой строке они равны 0, и без отрицания, если 1.

- Для СКНФ (по 0): записать дизъюнкцию (ИЛИ) всех переменных, взяв их с отрицанием, если в этой строке они равны 1, и без отрицания, если 0 (правило обратное СДНФ).

3. Соединить все полученные «блоки» одной логической операцией:

- Все конъюнкции объединить операцией дизъюнкции (ИЛИ) – это будет СДНФ.

- Все дизъюнкции объединить операцией конъюнкции (И) – это будет СКНФ.

Результат преобразования таблицы истинности

Если взять одну и ту же таблицу истинности и применить к ней алгоритм построения совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ), то на выходе всегда получится один и тот же набор минтермов. Для совершенной конъюнктивной нормальной формы (СКНФ) – аналогично, свой уникальный набор макстермов. Да, итоговая формула может выглядеть громоздко. Но она каноническая. Это своего рода паспорт логической функции – по нему её можно однозначно опознать.

Почему здесь нет места неоднозначности? Потому что сам алгоритм не оставляет свободы для манёвра. Сама суть совершенных форм исключает субъективную интерпретацию. Алгоритм действует как чёткий механический переводчик. Он берёт табличные данные и превращает их в формулу по жёстким, неизменным правилам. Каждая строка таблицы, где функция принимает значение «единица» (для СДНФ) или «ноль» (для СКНФ), порождает свой уникальный логический фрагмент – минтерм или макстерм. И ещё один ключевой момент – условие «совершенности». Оно требует, чтобы каждая переменная функции обязательно присутствовала в каждом таком фрагменте. Благодаря этому нельзя пропустить какой-то аргумент или, наоборот, добавить лишний. В итоге между уникальным набором входных данных (строками таблицы) и уникальной совокупностью логических кусочков возникает взаимно однозначное соответствие. Кто бы ни применял этот алгоритм к одной и той же таблице – результат будет идентичным.

Практическая ценность СДНФ и СКНФ в цифровых технологиях

В основе любого цифрового устройства – от простенького датчика до мощного процессора – лежит одна и та же задача: нужно реализовать конкретную логическую функцию. И вот здесь СДНФ и СКНФ приходятся как нельзя кстати. Они дают механический, почти безошибочный способ превратить таблицу истинности (то есть формальное описание того, что должно делать устройство) в готовую логическую схему. Это похоже на автоматический перевод с языка условий на язык электронных компонентов.

Полученная формула становится готовым проектом двухуровневой схемы. Первый уровень – набор элементов «И», второй – элемент «ИЛИ» (или наоборот,

в зависимости от формы). Именно так проектируются базовые блоки программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и архитектура постоянного запоминающего устройства (ПЗУ). В ПЗУ адрес ячейки – это набор переменных, а хранимый бит – значение функции.

Заключение

Совершенные нормальные формы – это не абстрактная теория, а мощный и совершенно необходимый инструмент. Они отвечают на фундаментальный вопрос: как перейти от табличного задания функции к её формуле. И делают это строго и алгоритмично. Понимание СДНФ и СКНФ – это первый и обязательный шаг от чистой булевой алгебры к практическому проектированию чего угодно: микросхемы, алгоритма поиска или архитектуры процессора. Эти формы – тот самый уникальный алгебраический паспорт, по которому можно однозначно опознать любую логическую функцию.

Список литературы

1. Бабичева И.В. Логика в таблицах, рисунках и схемах. – Москва, 2021.
2. Жуков А.О. Системный анализ : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2 : Математические основы и методы. – Москва, 2023.
3. Бекетов С.М., Зубкова Д.А., Гинцяк А.М., Бурлуцкая Ж.В., Редько С.Г. Современные методы оптимизации и особенности их применения. URL: <https://www.rtfj-mirea.ru/jour/article/view/1213/749> (дата обращения: 07.05.2026).
4. Энгауз Е.Я., Цылова Е.Г. Минимизация ДНФ и КНФ и её использование при решении текстовых логических задач. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/minimizatsiya-dnf-i-knf-i-eyo-ispolzovanie-pri-reshenii-tekstovyh-logicheskikh-zadach/viewer> (дата обращения: 07.05.2026).
5. Макаренко Ф.В., Зольников В.К., Заревич А.И. [и др.]. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
6. Зольников В.К., Сазонова С.А., Заревич А.И., Башун С.С. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27-40.

7. Шеховцов Д.В., Плотников А.М., Зольников К.В., Заревич А.И. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79-86.

8. Полуэктов А.В., Зольников К.В., Анциферова В.И. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

References

1. Babicheva I.V. Logic in Tables, Figures, and Diagrams. – Moscow, 2021.

2. Zhukov, A.O. Systems Analysis: A Tutorial. In 2 Parts. Part 2: Mathematical Foundations and Methods. – Moscow, 2023.

3. Beketov S.M., Zubkova D.A., Gintsyak A.M., Burlutskaya Zh.V., Redko S.G. Modern optimization methods and features of their application. URL: <https://www.rtmirea.ru/jour/article/view/1213/749> (date of access: 07.05.2026).

4. Ekgauz E.Ya., Tsylova E.G. Minimization of DNF and CNF and its use in solving text logic problems. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/minimizatsiya-dnf-i-knf-i-eyo-ispolzovanie-pri-reshenii-tekstovyh-logicheskikh-zadach/viewer> (date of access: 07.05.2026).

5. Makarenko F.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the sensitization process // Microelectronics. - 2024. - Vol. 53, No. 4. - P. 318-330. - DOI 10.31857/S0544126924040041. - ED. ZAKOAI.

6. Zolnikov V.K., Sazonova S.A., Zarevich A.I., Bashun S.S. Research of methods for protecting information from leakage through acoustic and vibroacoustic channels // Modeling of systems and processes. - 2025. - Vol. 18, No. 2. - P. 27-40.

7. Shekhovtsov D.V., Plotnikov A.M., Zolnikov K.V., Zarevich A.I. Technology for developing an RTL model from the field of developing a software and analytical CAD complex // Modeling of systems and processes. - 2023. - Vol. 16, No. 3 - P. 79-86.

8. Poluektov A.V., Zolnikov K.V., Antsiferova V.I. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package // Modeling of systems and processes. - 2021. - Vol. 14, No. 4. - Pp. 139-148. - DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. - AUTHOR'S NOTE.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

В.Э. Буздин¹, М. Бхуйа¹, Ю. Реин¹, Р.Ш. Шова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Рассмотрены практические подходы к разработке микросервисной архитектуры в корпоративных системах. Показано, как решения по границам сервисов, работе с данными и наблюдаемости влияют на масштабируемость. Проанализированы типовые механизмы отказоустойчивости: таймауты, ограничение параллелизма, деградационные режимы и надежная доставка событий. Отдельно рассмотрена интеграция микросервисов с существующими системами и поэтапная миграция без остановки бизнес-процессов.

Ключевые слова: микросервисы, корпоративные системы, масштабируемость, отказоустойчивость, интеграция, миграция, события, API-шлюз.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF MICROSERVICE ARCHITECTURE IN CORPORATE SYSTEMS

V.E. Buzdin¹, M. Bhuya¹, Yu. Rein¹, R.S. Shova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper describes practical microservice design for corporate systems. It highlights how service boundaries, data ownership and observability affect scalability. Typical fault-tolerance mechanisms are discussed: timeouts, bulkheads, graceful degradation and reliable event delivery. Integration with legacy systems and incremental migration without downtime are also covered.

Keywords: microservices, corporate systems, scalability, fault tolerance, integration, migration, events, API gateway.

Введение

Корпоративные информационные системы почти всегда развиваются в условиях смешанного ландшафта: рядом работают учетные решения, CRM,

склад, документооборот, витрины данных и внешние интеграции. Долгое время в таких условиях доминировал монолитный подход: единое приложение и общий релизный цикл. На старте это выглядит просто и удобно, но по мере роста системы проявляются типичные проблемы: релизы становятся редкими и рискованными, тестирование дорожает, а локальный сбой легко затрагивает большой кусок функциональности.

Микросервисная архитектура рассматривается как вариант эволюционного перехода к набору самостоятельных компонентов, ориентированных на бизнес-функции и способных разворачиваться независимо. В литературе микросервисы описываются как небольшие сервисы, взаимодействующие через легковесные протоколы и поставляемые независимыми релизами.

Для корпоративного контура особенно важны два вопроса: выдерживание нагрузки (масштабируемость) и стабильная работа при сбоях (отказоустойчивость), а также безопасная интеграция с уже существующими системами [1].

Логика выделения микросервисов

Микросервис в корпоративной системе целесообразно трактовать как автономный компонент, который решает ограниченную бизнес-задачу и имеет собственные данные и жизненный цикл.

На уровне проектирования ключевым становится выбор границ сервисов: если границы размыты, сервис начинает «знать обо всем» и превращается в маленький монолит. В работе с границами удобно опираться на предметные области и «границы контекста»: сервису отдается участок, где правила относительно стабильны и понятны бизнесу (например, управление договором, каталог товаров, расчет скидок). Такая декомпозиция упрощает развитие: сервис можно изменять и выпускать отдельно, не затрагивая всю систему.

Взаимодействие между сервисами строится синхронно (HTTP/gRPC) или асинхронно (сообщения и события). Синхронный вызов удобен там, где нужен быстрый ответ. Асинхронный обмен дает слабую связность и лучше переносит временную недоступность отдельных компонентов.

Масштабируемость в микросервисном контуре

Масштабируемость в микросервисной архитектуре выражается не только в возможности «добавить реплики», но и в том, насколько система избегает общих узких мест.

При удачной декомпозиции на пиках нагрузки увеличивается емкость именно того сервиса, который является горячей точкой: расчет стоимости, поиск, обработка очередей, генерация документов.

Горизонтальное масштабирование обычно достигается запуском нескольких экземпляров сервиса и балансировкой трафика. В контейнерных платформах применяются механизмы автомасштабирования по метрикам, что снижает ручную нагрузку на эксплуатацию [2]. При этом важно, чтобы сервисы были stateless: пользовательское состояние, кэши и очереди должны быть вынесены во внешние компоненты, иначе масштабирование превращается в фикцию.

В корпоративных системах чаще всего мешают три фактора.

Первый фактор - единая база данных как центральная точка давления. Если все сервисы продолжают писать в общий контур, нагрузка и блокировки сосредотачиваются там, а независимое масштабирование теряет смысл. Практичный вариант - закреплять владение данными за сервисом, а потребителям отдавать события, витрины чтения или строго ограниченные API. Это снижает скорость «быстрого запроса в чужую таблицу», но дает предсказуемость и управляемость при росте.

Второй фактор - длинные синхронные цепочки. Чем больше сервисов стоит в маршруте одного запроса, тем выше суммарная задержка и тем больше вероятность срыва из-за одного медленного звена. Часть операций оказывается выгоднее перевести в асинхронный режим: задача принимается быстро, а результат формируется позже.

Третий фактор - тяжелые фоновые процессы (заккрытие периода, массовые загрузки, пересчеты). Если они выполняются в том же контуре, что и пользовательские операции, система теряет устойчивость на пиках.

Разделение на онлайн-сервисы и фоновых воркеров с очередями позволяет держать прогнозируемую производительность.

Отказоустойчивость: что ломается в распределенной системе

В распределенной архитектуре сбои являются обычным состоянием: сеть ведет себя нестабильно, внешние контрагенты отвечают медленно, сервисы перезапускаются, а базы данных могут временно деградировать из-за репликации. Поэтому отказоустойчивость строится не вокруг идеи «сбоев не будет», а вокруг идеи «сбой локализован и не тянет остальных».

Типовая проблема - каскадные отказы. Если сервис А зависим от сервиса В и В «подвисает», то у А начинают заканчиваться рабочие потоки, очередь растет, и в итоге деградация распространяется дальше. Для ограничения ущерба применяются короткие таймауты, лимиты параллельных запросов, разделение пулов ресурсов и деградационные ответы. Дополнительно используются схемы circuit breaker и bulkhead, которые позволяют временно отсечь проблемное направление и сохранить работоспособность остальных функций. Отдельный пласт - надежность обмена событиями. В корпоративных процессах события часто запускают цепочки действий: изменение заказа должно породить уведомление, обновить склад, сформировать документы, обновить витрину для аналитики. Если событие потеряно, система начинает «расходиться» по состояниям.

Чтобы уменьшить риск, применяется связка записи бизнес-изменения и фиксации события в локальном хранилище с последующей доставкой через фоновый отправитель (outbox-подход) [4].

При повторной доставке важна идемпотентность: обработка одного и того же события не должна создавать дубликаты операций. Наблюдаемость делает отказоустойчивость практической, а не декларативной. Сквозные идентификаторы запросов, централизованные метрики и трассировки позволяют быстро находить узкое место: где выросла задержка, где появились 5xx, какой внешний сервис начал отвечать медленнее. Без этого деградация выглядит одинаково для пользователя, хотя причины могут быть разными.

Интеграция с существующими системами и миграция без остановки

В корпоративной среде редко бывает возможность выключить старую систему и «переключиться» на новую в один момент. Поэтому интеграция и миграция строятся поэтапно: рядом с монолитом или существующими платформами появляются новые сервисы, которые постепенно берут на себя отдельные функции.

Практичным вариантом считается подход по шаблону Strangler Fig: между клиентами и старым бэкендом вводится фасад (прокси), который сначала направляет почти все запросы в старую систему, а затем постепенно переключает отдельные маршруты на новые сервисы [3]. Это снижает риск: миграция идет кусками, каждый кусок можно протестировать и откатить, не ломая всю систему. Интеграция обычно включает три уровня.

Первый уровень - внешние и пользовательские API. Здесь важны контракты, версии и совместимость по схемам данных. API-шлюз помогает централизовать авторизацию, лимиты, маршрутизацию и трансформацию запросов.

Второй уровень - обмен событиями внутри контура. Он полезен там, где сервисам не нужно ждать мгновенного ответа друг от друга. Событийная интеграция облегчает подключение новых функций, но требует дисциплины по схемам событий и их эволюции.

Третий уровень - связь с тяжелыми внешними системами (ERP, бухгалтерия, документооборот), которые трудно менять. Там обычно вводятся адаптеры и слой преобразования данных, чтобы внутренняя модель сервисов не «прилипла» к особенностям внешнего формата. Такой слой увеличивает объем интеграционного кода, но удерживает архитектуру в понятных границах при долгой эксплуатации.

Короткий пример: контур «заказ-оплата-отгрузка»

Чтобы было понятнее, возьмём типовой процесс, который часто встречается в торговле и сервисе – «заказ-оплата-отгрузка». Исходно система была монолитной, с общей реляционной базой. В одном контуре жили: корзина, заказ, расчёт стоимости, платежи, склад, уведомления. Всё вместе.

Переходить на микросервисы начали с самых безобидных функций. С тех, где ошибки и задержки меньше всего бьют по целостности данных. Сервис уведомлений первым отцепили – подключили через очередь. Монолит просто публиковал событие «заказ создан», а уведомления уходили отдельно. Эффект был быстрый, а рисков почти ноль.

Следующим выделили сервис расчёта стоимости и скидок. Это была горячая точка по процессору. Сервис сделали stateless (без сохранения состояния между запросами), а правила для скидок вынесли в отдельное хранилище. И тут же стало легко масштабироваться: нагрузка выросла – добавили ещё экземпляров сервиса, и всё, остальную систему это не трогает.

Самым сложным куском оказались платежи и согласованность данных. В монолите все изменения шли одной транзакцией – это просто. А в распределённой схеме пришлось разложить процесс на отдельные шаги. Каждый шаг фиксирует своё локальное состояние, а если что-то пошло не так, запускаются компенсирующие действия – например, снять предварительный резерв. Для надёжной публикации событий использовали схему outbox [4].

Интеграцию с бухгалтерией тоже отделили от онлайн-контура. Микросервисы публикуют унифицированные события о движениях, а специальный интеграционный адаптер собирает из них документы в формате внешней системы и следит за статусами. Благодаря этому бухгалтерия осталась источником юридически значимых документов, а микросервисы не перегрузили специфическими правилами внешнего учёта.

Что получилось в итоге? Основные улучшения проявились на пиковых нагрузках. Тяжёлые операции перестали тормозить весь контур. Если внешний сервис падал, система не ложилась целиком – она уходила в режим деградации, но базовые функции сохраняла.

Заключение

Микросервисная архитектура в корпоративных системах позволяет развивать функциональность частями, гибко масштабировать горячие зоны и локализовать сбои. Масштабируемость достигается не только количеством реплик, но и отказом от общих узких мест: общей базы «для всех», длинных синхронных цепочек и смешения онлайн-операций с тяжелыми фоновыми задачами. Отказоустойчивость строится на управляемых таймаутах, изоляции ресурсов, деградационных режимах и надежной доставке событий. Интеграция с существующими системами часто становится главным фактором успеха.

Поэтапная миграция через фасады и постепенное переключение маршрутов позволяет внедрять микросервисы без остановки бизнеса и распределять риск по небольшим изменениям [3]. Это делает переход управляемым и позволяет улучшать надежность и скорость развития системы в реальной эксплуатации.

Список литературы

1. Зольников К.В., Шеховцов Д.В., Махиборода М.А., Оксюта О.В., Мещерякова А.А. Системное моделирование и разработка протоколов информационного взаимодействия блоков в программно-аппаратном комплексе САПР // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 53-62. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-53-62.

2. Шумилов М.И. Оптимизация высоконагруженных веб-проектов с использованием микросервисной архитектуры // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. – 2024. – № 11 (128). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18560> (дата обращения: 31.01.2026).

3. Никитин И.В., Гриценко Т.Ю. Сравнение подходов монолитной архитектуры и микросервисной архитектуры при реализации серверной части веб-приложения // Дневник науки. – 2020. – № 3 (39). – С. 22. – EDN TTOGCE.

4. Кондрахин О.И., Золотарев С.В. Комплексный подход к тестированию приложений, построенных на основании микросервисной архитектуры в теории и на практике // Информатика: проблемы, методология, технологии : сборник материалов XVIII международной научно-методической конференции : в 7 т. / под ред. Н.А. Тюкачева. – Воронеж : Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2018. – Т. 1. – С. 108-110. – EDN YVLKWQ.

5. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. [и др.]. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2025. – № 3. – С. 19-28.

6. Полуэктов А.В., Зольников К.В., Анциферова В.И. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

7. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В. [и др.]. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180-184.

8. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения / Н. Ю. Заленская, Ф. В. Макаренко, А. И. Заревич, А. В. Полуэктов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3–16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

References

1. Zolnikov K.V., Shekhovtsov D.V., Makhaboroda M.A., Oxyuta O.V., Meshcheryakova A.A. System modeling and development of protocols for information interaction of blocks in a CAD software and hardware complex // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 53-62. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-53-62.

2. Shumilov M.I. Optimization of highly loaded web projects using microservice architecture // Universum: technical sciences: electron. scientific journal. – 2024. – №

11 (128). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18560> (date of request: 31.01.2026).

3. Nikitin I.V., Gritsenko T.Y. Comparison of monolithic architecture and microservice architecture approaches in the implementation of the server side of a web application // *Diary of science*. – 2020. – № 3 (39). – P. 22. – EDN TTOGCE.

4. Kondrakhin O.I., Zolotarev S.V. An integrated approach to testing applications based on microservice architecture in theory and in practice // *Informatics: problems, methodology, technologies : collection of materials of the XVIII International Scientific and Methodological conference : in 7 volumes / edited by N.A. Tyukachev. Voronezh : Scientific Research Publications Publishing House, 2018. Vol. 1. pp. 108-110. EDN YVLKWQ.*

5. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V. [et al.]. Transformations of the elements of the design levels taking into account the radiation effect // *Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment*. – 2025. – No. 3. – pp. 19-28.

6. Poluektov A.V., Zolnikov K.V., Antsiferova V.I. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package // *Modeling of systems and processes*. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

7. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V. [and others]. Hardware and software complex for automated testing of high-current converters // *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – pp. 180-184.

8. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения / Н. Ю. Заленская, Ф. В. Макаренко, А. И. Заревич, А. В. Полуэктов // *Известия высших учебных заведений*. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3-16. - DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. - РЕД. HOOMCR.

СРАВНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ ПОДХОДОВ И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПО ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

В.Э. Буздин¹, М. Бхуйа¹, Ю. Реин¹, Р.Ш. Шова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе проведён анализ точности прогнозирования академической успеваемости студентов с использованием различных моделей: традиционных статистических (логистическая регрессия, решающие деревья) и нейросетевых (MLP, LSTM, Transformer). Отмечены особенности применения моделей к данным цифрового журнала успеваемости. На основе результатов продемонстрировано, что современные нейронные сети могут обеспечивать более высокую точность прогноза, однако простые модели остаются востребованными благодаря интерпретируемости и устойчивости.

Ключевые слова: академическая успеваемость, учебная аналитика, прогнозирование, нейронные сети, логистическая регрессия, решающие деревья, LSTM, Transformer

COMPARISON OF NEURAL APPROACHES AND TRADITIONAL METHODS OF FORECASTING ACCURACY

V.E. Buzdin¹, M. Bhuya¹, Yu. Rein¹, R.S. Shova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper analyzes the accuracy of predicting students' academic performance using various models: traditional statistical (logistic regression, decision trees) and neural network (MLP, LSTM, Transformer). The features of the application of models to the data of the digital journal of academic performance are noted. Based on the results, it is demonstrated that modern neural networks can provide higher prediction accuracy, but simple models remain in demand due to interpretability and stability.

Keywords: academic performance, learning analytics, forecasting, neural networks, logistic regression, decision trees, LSTM, Transformer.

Введение

Сейчас образовательные учреждения конкурируют друг с другом очень плотно. Нужно выжимать максимум из ресурсов – и чтобы студенты учились лучше, и чтобы их не отчисляли, и чтобы успеваемость росла. Задача – глубоко проанализировать академические успехи учащихся. Это поможет разработать стратегию поддержки, улучшить методы преподавания. Учебные заведения хотят понимать, какие факторы (предикторы) влияют на успеваемость. Но это не просто – слишком много дополнительных факторов (экономических, социальных, демографических, культурных) могут вмешиваться. Системы поддержки принятия решений (СППР) в образовании – например, для оптимизации учебного плана – уже показывают, насколько важны прогнозные модели [1].

Какие методы используют для прогнозирования успеваемости

Для такой задачи годятся и традиционные статистические методы машинного обучения, и современные нейросетевые подходы. К первым – логистическая регрессия, решающие деревья и другие алгоритмы классификации. Их давно применяют в образовательных исследованиях, чтобы выявлять факторы успеваемости и предсказывать результаты. Ко вторым – нейронные сети: от простых многослойных перцептронов (MLP) до рекуррентных сетей (например, LSTM) и новейших трансформеров [2].

Многослойный перцептрон (MLP)

MLP – это полносвязная сеть прямого распространения. У неё есть входной слой, один или несколько скрытых слоёв и выходной слой. Каждый нейрон скрытого слоя сначала делает аффинное преобразование входов, а потом применяет нелинейную функцию активации (сигмоиду, ReLU и т.п.). Благодаря нелинейностям MLP может приближать сложные зависимости между признаками и целевой переменной – то, что линейным моделям не под силу.

В прогнозировании успеваемости MLP может учитывать совокупное влияние оценок по прошлым курсам, посещаемость и демографические факторы на то, сдаст ли студент текущий курс. Обучают сеть методом обратного распространения ошибки по данным прошлых периодов. MLP уже использовали в образовательном Data Mining – и он показал более высокую точность, чем логистическая регрессия, когда данных достаточно для обучения.

Минусы MLP: нужно много данных (обучать большое число весов), и модель сложнее интерпретировать – веса нейронов не так легко трактовать как значимость конкретных факторов. Но MLP – это база для более сложных архитектур, и во многих случаях он даёт более точные прогнозы, чем классические методы [3].

Рекуррентные сети и LSTM

Традиционные нейросети (MLP) не учитывают порядок поступления данных. А в образовательных задачах динамика показателей во времени часто важна. Рекуррентные нейронные сети (RNN) специально сделаны для последовательных данных. У них есть обратные связи – информация о предыдущем состоянии передаётся дальше. Это делает RNN естественным выбором для анализа временных рядов оценок, последовательности заданий и т.д. Но у простых RNN проблема – они плохо запоминают долгосрочные зависимости из-за исчезающего градиента.

Поэтому придумали LSTM (Long Short-Term Memory) – долгую краткосрочную память. В LSTM есть специальная ячейка памяти и три фильтра (гейта): входной, выходной и забывающий. Они управляют потоком информации. Так можно хранить важные данные долго и постепенно их обновлять или забывать. Повторяющийся модуль LSTM состоит из четырёх взаимодействующих слоёв.

Как LSTM удерживает долгую историю

LSTM хорошо запоминает, что было давно. Например, если сеть анализирует оценки студента за весь семестр, она увидит и недавние результаты, и те, что случились в начале – например, пропуски пару месяцев назад или резкий рывок в середине. На практике LSTM в образовании помогает прогнозировать итоговую успеваемость по текущим оценкам, выявлять риск отчисления по активности студента и так далее. На таких задачах LSTM работает точнее, чем старые модели и даже простые RNN. Но есть минус – LSTM сложнее в настройке. Нужно аккуратно подбирать гиперпараметры (размер памяти, скорость обучения) и дать сети много данных, чтобы она раскрыла свой потенциал.

Трансформеры

Последнее слово в моделировании последовательностей – архитектура Transformer. Её придумали для машинного перевода. И она устроена совсем не

так, как рекуррентные сети. Там нет явной рекуррентности. Вместо этого – механизм многоголовочного внимания (self-attention). В классическом варианте Transformer состоит из энкодера и декодера. Каждый из них – стек из нескольких слоёв с вниманием и полносвязной подсетью. Благодаря этому подходу элементы последовательности можно обрабатывать параллельно, а контекст учитывается через веса внимания между всеми парами элементов.

Transformer требует очень много данных, чтобы хорошо обучиться. Но если примеров достаточно, он способен улавливать сложнейшие зависимости. В образовании, скажем, Transformer может предсказывать результаты цепочки действий – решения задач в тренажёре, ответы на викторины. Там, где важны тонкие паттерны поведения. Исследования показывают: на длинных последовательностях Transformer часто обходит LSTM по точности, потому что лучше видит дальние связи. Но на маленьких выборках или коротких последовательностях LSTM или даже простые RNN могут быть надёжнее – меньше риск переобучиться. Так что Transformer – мощная, но прожорливая штука. Её стоит брать, если данных много и нужна максимальная точность.

Ключевые критерии выбора модели

Самый главный критерий – точность. Насколько хорошо модель предсказывает событие (сдаст студент экзамен или нет). Но не только. Ещё важны устойчивость к шумам и пропускам, понятность результатов, вычислительная сложность.

Современные исследования и живой опыт показывают: нейросети при правильной настройке часто точнее простых алгоритмов. Многослойный перцептрон (MLP) ловит нелинейные сочетания признаков, которые логистическая регрессия просто пропустит. LSTM и трансформеры умеют работать с временной структурой данных, тогда как традиционные методы требуют либо агрегации, либо ручного изобретения временных признаков. На задачах, где точность выше всего, нейросети могут дать выигрыш в несколько процентов. Но разница не всегда драматична – в некоторых случаях простые модели выдают почти такой же результат. Как говорят обзоры, нет одного лучшего метода для всех ситуаций. Всё упирается в данные.

Устойчивость и интерпретируемость

Точность на тестовой выборке – не единственный показатель. Простые модели часто выигрывают в устойчивости. Логистическая регрессия имеет меньше

степеней свободы, поэтому меньше склонна к переобучению. Решающие деревья в ансамблях (случайный лес) дают стабильно хорошие результаты даже при шумах. Глубокие нейросети могут переобучаться на малозаметных зависимостях, если данные не очень репрезентативны. Плюс из-за случайной инициализации весов и стохастической оптимизации результаты обучения могут немного отличаться от запуска к запуску. Но с регуляризацией (dropout, L2) и достаточным объёмом данных нейросети успешно обобщают. LSTM и Transformer, учитывающие контекст, часто более устойчивы к пропускам отдельных значений – если студент пропустил одну контрольную, сеть компенсирует это информацией с других шагов. А моделям без памяти (логистической регрессии) нужна спецобработка пропусков – импутация средним, индикаторные признаки и т.д.

Особое значение в образовательной среде имеет интерпретируемость. Преподаватели и администраторы охотнее доверяют инструментам, которые прозрачно объясняют свои предсказания. Тут логистическая регрессия и решающие деревья сильно выигрывают у нейросетей. Коэффициенты регрессии можно интерпретировать как влияние каждого признака на вероятность успеха. Дерево – как набор понятных правил («если посещаемость < 60%, прогноз не сдаст»). Нейросети – это «чёрный ящик» с сотнями параметров. Объяснить, почему конкретного студента отнесли к группе риска, трудно. Есть методы интерпретации нейросетей (LIME, SHAP для локальных объяснений), но они усложняют внедрение. Поэтому на практике часто ищут компромисс: использовать сложную модель для скрытого анализа и повышения точности, а рядом иметь простой интерпретируемый классификатор для объяснений [2].

Заключение

Разные подходы к прогнозированию – от простых до сложных – не стоит рассматривать как конкурирующие. Они скорее дополняют друг друга в арсенале образовательной аналитики. Какую модель выбрать – диктуют доступные данные, требования к прозрачности и доступные ресурсы. А успех измеряется не только метриками точности, но и реальным эффектом для учебного процесса.

Список литературы

1. Ягодкин А.С., Литвинов Н.Н., Иванин П.С., Грошев А.С. Компьютерное моделирование работоспособности финишных процедур и паразитных элемен-

тов в программно-аппаратном комплексе проектирования микросхем // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 106-115. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-104-113. – EDN NICLOY.

2. Певченко С.С., Блужин В.А. Сравнительный анализ алгоритмов нейронной сети и деревьев принятия решений модели интеллектуального анализа данных // Молодой ученый. – 2016. – № 28 (132). – С. 148-154. – EDN XEOJUT.

3. Кандауров И.А., Буздин В.Э. Применение графических процессоров с искусственными нейронными сетями // Проблемные вопросы моделирования систем и процессов : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 555-558. – DOI 10.58168/CISMP2024_555-558. – EDN JPIXXN.

4. Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Заревич А.И. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10-17.

5. Заревич А.И., Муравьев С.В. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129-133.

6. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388-390.

7. Новикова Т.П., Бодин А.А., Заревич А.И. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77-80.

8. Заревич А.И., Вегнер Е.В., Винтизенко И.И. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78-82.

9. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294-296.

10. Zarevich A., Poluektov A., Sumina Yu., Makarenko Ph. Structural mechanics in forestry based on digital twin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHN.

11. Макаренко Ф.В., Зольников В.К., Заревич А.И. [и др.]. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

12. Шеховцов Д.В., Плотников А.М., Зольников К.В., Заревич А.И. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79-86.

13. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. [и др.]. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2025. – № 3. – С. 19-28.

14. Makarenko Ph.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, № 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.

References

1. Yagodkin A.S., Litvinov N.N., Ivanin P.S., Groshev A.S. Computer simulation of the operability of finishing procedures and parasitic elements in the software and hardware complex of designing microcircuits // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 3. – PP. 106-115. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-104-113. – EDN NICLOY.

2. Pevchenko S.S., Bluzhin V.A. Comparative analysis of neural network algorithms and decision trees of the data mining model // Young Scientist. – 2016. – № 28 (132). – Pp. 148-154. – EDN XEOJUT.

3. Kandaurov I.A., Buzdin V.E. Application of graphics processors with artificial neural networks // Problematic issues of modeling systems and processes : proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024. pp. 555-558. – DOI 10.58168/CISMP2024_555-558. – EDN JPIXN.

4. Sazonova S.A., Asminin V.F., Zarevich A.I. Development of the bank's information subsystem for issuing loans // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17.

5. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
6. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 388-390.
7. Novikova T.P., Bodin A.A., Zarevich A.I. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of a dental clinic // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. - 2023. – No. 3. – pp. 77-80.
8. Zarevich A.I., Wegner E.V., Vintizenko I.I. An automated complex for diagnosing pulses of a relativistic microwave generator // Instruments and experimental techniques. – 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
9. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, no. 4. – P. 294-296.
10. Zarevich A., Poluektov A., Sumina Yu., Makarenko Ph. Structural mechanics in forestry based on digital twin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.
11. Makarenko F.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the sensitization process // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
12. Shekhovtsov D.V., Plotnikov A.M., Zolnikov K.V., Zarevich A.I. Technology of RTL-model product description development in the development of CAD software and analytical complex // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.
13. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V. [et al.]. Transformations of elements of design levels taking into account radiation exposure // Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment. - 2025. – No. 3. – pp. 19-28.
14. Makarenko Ph.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ В МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

В.Э. Буздин¹, Е.А. Аникеев¹, М.И. Лозовский¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Рассмотрен способ управлять вычислительными ресурсами микросервисов так, чтобы держать задержки под контролем и не раздувать кластер «про запас». В основе лежит модель очередей М/М/т для оценки времени ожидания и простая схема прогноза нагрузки на короткий горизонт. Показано, как из прогноза интенсивности запросов получать целевое число реплик и как сочетать это с реактивным масштабированием по метрикам. Приведен пример расчета и результаты имитационного эксперимента.

Ключевые слова: микросервисы, теория массового обслуживания, М/М/т, Erlang C, прогноз нагрузки, авто-скейлинг, Kubernetes, HPA.

OPTIMAL RESOURCE MANAGEMENT IN MICROSERVICE ARCHITECTURE

V.E. Buzdin¹, E.A. Anikeev¹, M.I. Lozovskii¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. A practical approach to resource management for microservices is presented to keep latency predictable without excessive overprovisioning. The method combines an M/M/m queueing model for waiting-time estimation with short-horizon workload forecasting. It is shown how to derive the target replica count from the predicted arrival rate and how to combine proactive decisions with reactive autoscaling based on metrics. A calculation example and simulation results are provided.

Keywords: microservices, queueing theory, M/M/m, Erlang C, workload forecasting, autoscaling, Kubernetes, HPA.

Введение

Микросервисную архитектуру любят за независимые релизы и за то, что «горячие» части системы можно масштабировать отдельно, не трогая остальное. В учебных примерах масштабирование выглядит элегантно – нагрузка выросла, добавил реплик; упала, убрал. В реальной эксплуатации вылезает неприятная деталь – решения приходят с опозданием. Сначала метрики собираются окнами, потом отрабатывает контроллер автоскейлинга, потом новые поды стартуют и прогреваются. За это время поток запросов успевает накопить очередь, и пользователи начинают замечать, что время ответа выросло [1, 2].

Часто используют правило «держат загрузку CPU около 60–70%». Оно работает, пока время обслуживания и тип запросов почти не меняются. Но как только сервис начинает активно ходить в базу данных, во внешние API или получает пачки сложных запросов, связь между CPU и задержками становится слабее. В итоге при одинаковой загрузке процессора можно получить разные очереди, а при одинаковой очереди – разные причины [2].

Интересно выглядит гибридный подход – реактивное масштабирование дополняется прогнозом нагрузки и расчётом нужного числа реплик через простую модель очередей. В этой работе показано, что даже базовая схема M/M/m даёт полезный рычаг управления. Вместо правила «CPU больше 70%» появляется требование «ожидание в очереди не больше W_q^* ». Это позволяет заранее добавить мощности перед всплеском, а потом аккуратно вернуть ресурсы без постоянного дёрганья реплик.

Постановка задачи и допущения

Рассмотрим типовой микросервис S , который обслуживает поток запросов. Пусть запросы приходят с интенсивностью $\lambda(t)$, а один экземпляр сервиса (одна реплика) обрабатывает запросы со средней скоростью μ . Если у нас m реплик, суммарная обслуживающая способность равна $m \cdot \mu$. Но реальная задержка зависит от того, есть ли очередь и насколько близко система работает к насыщению [3].

Цель управления формулируется так. Нужно подобрать $m(t)$, чтобы среднее время ожидания в очереди $E[W_q]$ не превышало заданного порога W_q^* (например, 50–100 мс), а суммарное выделение ресурсов было минимальным. Плюс учитываем, что $m(t)$ меняется дискретно, и запуск новой реплики занимает время T_s – тут и загрузка образа, и прогрев JVM или кэшей.

Для быстрой инженерной оценки используем модель M/M/m. Входной поток считаем пуассоновским, время обслуживания – экспоненциальным, число параллельных каналов обслуживания – m. Модель, конечно, упрощает реальность, но даёт понятные зависимости и позволяет построить явное правило масштабирования. Для связки величин применяем закон Литтла: $L = \lambda \cdot W$, где L – среднее число заявок в системе, W – среднее время пребывания [3].

Модель очереди M/M/m и расчет задержек

Ключевым параметром является загрузка (utilization) ρ :

$$\rho = \lambda / (m \cdot \mu), \quad 0 < \rho < 1. \quad (1)$$

При ρ близком к 1 очередь растет резко: небольшой всплеск λ приводит к скачку задержки. В модели M/M/m вероятность того, что запрос попадет в очередь (Erlang C), обозначим P_{wait} . Далее используются стандартные выражения для среднего числа заявок в очереди L_q и среднего ожидания W_q :

$$L_q = P_{wait} \cdot \rho / (1 - \rho), \quad W_q = L_q / \lambda. \quad (2)$$

Для удобства вводится инженерная нижняя оценка количества реплик по целевой загрузке ρ^* :

$$m \geq \text{ceil}(\lambda / (\rho^* \cdot \mu)). \quad (3)$$

Оценка (3) не учитывает Erlang C и очередь, но дает быстрый старт и ограничивает область перебора m. Затем точное условие проверяется по (1)–(2) и порогу W_q^* .

Архитектура контура управления ресурсами

Рассматриваемый контур управления можно описать как три связанных блока.

Блок 1 – измерение. Сервис отдает метрики: входной RPS, среднее время «чистой» обработки (без ожидания), количество активных потоков, длину очереди (если она есть на входе), а также p95/p99 времени ответа. На этой основе оцениваются $\lambda(t)$ и $\mu(t)$.

Блок 2 – прогноз. Строится прогноз $\lambda(t+\Delta)$ на горизонт Δ , сравнимый с T_s . В работе используется экспоненциальное сглаживание:

$$\lambda(t + \Delta) = \alpha \cdot \lambda(t) + (1 - \alpha) \cdot \lambda(t), \quad 0 < \alpha \leq 1. \quad (4)$$

Чтобы не «ловить» одиночные пики, в прогноз подается не мгновенная $\lambda(t)$, а значение, сглаженное по короткому окну, либо перцентиль (например, p90). Дополнительно вводится ограничение по темпу роста, чтобы избегать ошибок прогноза при редких выбросах.

Блок 3 – решение. По λ и μ вычисляется целевое число реплик $m_{proactive}$. Решение увеличивать m принимается сразу, а уменьшать – только если условие $Wq \leq Wq^*$ выполняется непрерывно в течение $Thold$ (например, 5–10 минут). Это снижает «дребезг» и экономит время на бесполезные перезапуски.

В реальном кластере контур решения обычно работает рядом с платформенным контроллером масштабирования. В Kubernetes для этого применяется Horizontal Pod Autoscaler, который меняет число реплик по метрикам CPU/памяти и по пользовательским метрикам через адаптеры [3].

Правило выбора числа реплик по прогнозу

Пусть задано Wq^* . По прогнозу λ вычисляется минимальное m , при котором $Wq(\lambda, \mu, m) \leq Wq^*$. Алгоритм:

1) вычисление стартового m_0 по (3) с целевым ρ^* ; 2) перебор m от m_0 до m_{max} ; 3) для каждого m вычисление ρ и Wq по (1)–(2); 4) выбор минимального m , удовлетворяющего Wq^* и условию $\rho < 1$.

Ниже приведен пример расчета при $\mu = 50$ req/s на реплику ($E[S] \approx 20$ мс), $\rho^* = 0.7$ и пороге $Wq^* = 0.05$ с. Значения Wq приведены как оценка по модели.

Таблица 1 – Пример подбора числа реплик по модели M/M/m

λ , req/s	m	ρ	Wq , с (оценка)
80	2	0.80	>0.05
80	3	0.53	<0.05
120	3	0.80	>0.05
120	4	0.60	<0.05

Даже в таком грубом виде видно, что решение опирается на управляемый смысл: держать ρ в безопасной зоне и не допускать роста очереди. Для сервисов с резко меняющимся временем обработки удобно считать μ по отдельным типам запросов и брать худший профиль.

Связка проактивного и реактивного масштабирования

Реактивный контур удобен как страховка. Он реагирует на деградацию μ (например, база стала медленнее) и на ситуации, когда прогноз ошибся. Проактивный контур полезен для старта всплеска: реплики добавляются до того, как очередь накопится.

На практике используется простая логика: целевое число реплик задается как максимум из двух оценок:

$$m_{target} = \max(m_{proactive}, m_{reactive}). \quad (5)$$

Если $m_{proactive}$ уже поднял реплики, реактивный контур обычно «успокаивается», потому что CPU и другие метрики возвращаются к целевым значениям. Если прогноз промахнулся и очередь растет быстрее, реактивный контур добавит еще. При спадании нагрузки проактивная часть стремится уменьшить m , но делает это с задержкой $Thold$, чтобы не сорвать устойчивость [3, 4].

Для событийных нагрузок (очереди сообщений) вместо CPU полезнее масштабироваться по длине очереди. Такой механизм реализуется через событийные скейлеры, где метрика «сколько сообщений ждет обработки» напрямую показывает, что $m \cdot \mu$ недостаточно для текущей λ . С точки зрения модели очередей это выглядит естественно: очередь является главным сигналом перегрузки.

Экспериментальная проверка на имитационной модели

Для сравнения рассмотрены две стратегии: А) только реактивное масштабирование (аналог НРА по CPU); В) гибрид: прогноз $\hat{\lambda}$ + модель M/M/m + гистерезис, плюс реактивная страховка.

Имитация выполнялась для сервиса с $T_s = 40$ с, $\mu = 50$ req/s, $m_{min}=2$, $m_{max}=10$. Нагрузка включает ежедневную «волну» и два всплеска: краткий (1 мин) и средний (10 мин). Время обслуживания моделировалось как экспоненциальное, но с редкими «тяжелыми» запросами: раз в N запросов добавлялась задержка, имитирующая холодный кэш или медленный запрос в базе данных. Такая добавка делает хвост распределения тяжелее и ближе к реальности микросервисов.

Оценивались p95 времени ответа, доля запросов с превышением порога 300 мс, а также среднее число реплик (как грубая оценка стоимости). При стратегии А p95 заметно растет в начале всплеска: масштабирование запаздывает на T_s и на окно метрик, а очередь успевает «разогнаться». При стратегии В рост p95 ниже: реплики добавляются заранее, и очередь не успевает накопиться. Доля запросов «длиннее 300 мс» снижалась примерно в 1.5–2 раза на старте среднего всплеска. Среднее число реплик увеличивалось умеренно (в пределах 5–12%), потому что уменьшение реплик задерживается $Thold$ и не происходит на кратких просадках трафика.

Обсуждение ограничений

1) Модель M/M/m упрощает реальность. В микросервисах часто встречаются тяжелые хвосты распределений (GC, блокировки, холодный кэш). Поэтому

Wq из (2) лучше воспринимать как индикатор риска, а не как точный прогноз задержки.

2) Параметр μ плавает. В схеме это компенсируется реактивным контуром и запасом по ρ^* . Дополнительно можно считать μ отдельно для «чистого» времени сервиса и для времени вместе с зависимостями, а также ограничивать параллелизм, чтобы не перегружать базу данных.

3) Дискретность и стоимость изменения m . Частые масштабирования могут создавать шум в системе: переподключения к БД, прогрев кэшей, перераспределение трафика. Поэтому гистерезис и $Thold$ оказываются не «опцией», а обязательной частью.

4) Задача быстро становится многокритериальной: важно одновременно держать задержку, ошибки, стоимость и не нарушать лимиты внешних систем. В этом случае модель очередей остается полезной как базовый слой: она связывает нагрузку, сервисное время и очередь, а поверх добавляются практические ограничения.

Заключение

Показано, что простая оценка по Erlang C и короткий прогноз интенсивности запросов позволяют заранее выделять мощности и снижать рост задержек на старте всплесков. В итоге получается более предсказуемое качество сервиса при умеренном увеличении среднего числа реплик.

Полученная схема удобна тем, что она опирается на понятные величины λ , μ и целевой порог Wq^* . Это позволяет согласовать настройки масштабирования с требованиями к пользовательской задержке и устойчивости, а также проще объяснять решения при разборе инцидентов.

Для практической настройки порогов удобно начинать с консервативных значений: выбирать ρ^* в диапазоне 0.6–0.75 и задавать Wq^* как долю от допустимого SLA по времени ответа. При накоплении телеметрии параметры уточняются: отдельные классы запросов получают собственные μ , а прогноз строится по дневным паттернам.

Список литературы

1. Копылов, И. Ю. Проектирование архитектуры веб-приложения управления проектами с построением диаграмм оценки производительности / И. Ю. Копылов, Е. О. Орешкина // Современные технологии в науке и образовании -

СТНО-2024 : Сборник трудов VII Международного научно-технического форума. В 10-ти томах, Рязань, 04–06 марта 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 2024. – С. 65-70. – EDN LNYBSQ.

2. Моргунов, Е. Ф. Мультиагентная микросервисная архитектура / Е. Ф. Моргунов, А. Н. Алфимцев // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. – 2025. – № 2(151). – С. 78-101. – EDN TPNAZP.

3. Экономические аспекты архитектуры предприятия при разработке технологической платформы для перспективных цифровых сервисов / В. А. Косарев, Л. А. Корунова, А. С. Малетина, В. А. Шиболденков // Экономика и предпринимательство. – 2025. – № 10(183). – С. 1313-1325. – DOI 10.34925/EIP.2025.183.10.218. – EDN MGLGYC.

4. Зольников К. В., Шеховцов Д. В., Махиборода М. А., Оксюта О. В., Мещерякова А. А. Системное моделирование и разработка протоколов информационного взаимодействия блоков в программно-аппаратном комплексе САПР // Моделирование систем и процессов. 2025. Т. 18, № 2. С. 53–62. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-53-62.

5. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStadium / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

6. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27–40.

References

1. Kopylov, I. Y. Designing the architecture of a project management web application with the construction of performance evaluation diagrams / I. Y. Kopylov, E. O. Oreshkina // Modern Technologies in Science and Education - STNO-2024 : Proceedings of the VII International Scientific and Technical Forum. In 10 volumes, Ryazan, 04-06 March 2024. Ryazan: Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, 2024. pp. 65-70. EDN LNYBSQ.

2. Morgunov, E. F. Multi-agent microservice architecture / E. F. Morgunov, A. N. Alfimtsev // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Instrument Engineering series. – 2025. – № 2(151). – Pp. 78-101. – EDN TPNAZP.

3. Economic aspects of enterprise architecture in the development of a technological platform for promising digital services / V. A. Kosarev, L. A. Korunova, A. S. Maletina, V. A. Shiboldenkov // Economics and entrepreneurship. – 2025. – № 10(183). – Pp. 1313-1325. – DOI 10.34925/EIP.2025.183.10.218. – EDN MGLGYC.

4. Zolnikov K.V., Shekhovtsov D.V., Makhaboroda M.A., Oksyuta O.V., Meshcheryakova A.A. System modeling and development of information interaction protocols of blocks in a CAD hardware-software complex. Modeling of Systems and Processes. 2025;18(2):53–62. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-53-62.

5. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – ПРИМ. АВТОРА.

6. V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun, Research of ways to protect information from leakage through acoustic and vibroacoustic channels // Modeling of systems and processes. - 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 27-40.

АРХИТЕКТУРА НУЛЕВОГО ДОВЕРИЯ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПАРАДИГМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЕЁ АДАПТАЦИЯ К РОССИЙСКОЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

С.Н. Волкова¹, Д.Е. Орлова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье анализируется эволюция архитектуры нулевого доверия от концептуальной модели к стратегическому стандарту обеспечения кибербезопасности. Рассматриваются теоретические основы подхода, его соответствие современным угрозам цифровой трансформации, а также особенности имплементации в условиях российской регуляторной среды. Предложена оригинальная модель интеграции принципов нулевого доверия с требованиями нормативных документов ФСТЭК России и спецификой защиты критической информационной инфраструктуры.

Ключевые слова: архитектура нулевого доверия, информационная безопасность, микросегментация, верификация идентичности, ФСТЭК России, постпериметральная безопасность, киберустойчивость.

ZERO TRUST ARCHITECTURE: TRANSFORMATION OF THE INFORMATION SECURITY PARADIGM AND ITS ADAPTATION TO THE RUSSIAN REGULATORY-TECHNICAL ENVIRONMENT

S.N. Volkova¹, D.E. Orlova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyses the evolution of Zero Trust Architecture from a conceptual model to a strategic standard for ensuring cybersecurity. The theoretical foundations of the approach are examined, along with its alignment with contemporary threats posed by digital transformation and the specific features of its implementation within the Russian regulatory environment. An original model is proposed for integrating Zero Trust principles with the requirements of normative documents issued by the Federal Service for Technical and Export Control of Russia (FSTEC) and the specificities of Critical Information Infrastructure protection.

Keywords: Zero Trust Architecture, information security, microsegmentation, identity verification, FSTEC Russia, post-perimeter security, cyber resilience.

Кризис периметральной модели безопасности как предпосылка формирования новой парадигмы

Классическая модель сетевой безопасности – когда защищают периметр информационной системы – сегодня уже не работает. Цифровая трансформация всё изменила. По данным эмпирических исследований инцидентов в российских компаниях за 2024–2025 годы, 68% взломов начинаются изнутри так называемой доверенной зоны. Как это происходит? Через скомпрометированные учётные записи, легитимные сессии с последующим повышением прав, или через нелегальное использование привилегированных аккаунтов. Всё это – следствие объективных перемен в ИТ-ландшафте: массовый переход на гибридную и удалённую работу, рост мультиоблачных архитектур, развитие интернета вещей и программно-определяемых сетей.

Архитектура нулевого доверия (Zero Trust Architecture, ZTA) – это не просто очередная мода, а фундаментальный сдвиг в том, как мы думаем о кибербезопасности. Отказ от пространственного принципа («всё внутри периметра – значит, доверенное») в пользу субъектно-ориентированного подхода. Здесь каждый запрос к ресурсу проверяется отдельно, независимо от того, откуда он пришёл. Ключевой постулат звучит так: «никогда не доверяй, всегда проверяй» (never trust, always verify). Это полностью меняет саму природу доверия в информационных системах.

Теоретические основы архитектуры нулевого доверия

Элиминация концепции доверенной зоны

В классической модели безопасности есть пространственная область, где все субъекты и объекты по умолчанию считаются авторизованными. Архитектура нулевого доверия отбрасывает это допущение целиком. Вместо него – универсальный принцип. Доверие не передаётся по наследству и не присваивается за косвенные признаки (местонахождение, принадлежность к сети, время суток). Для каждого отдельного доступа к ресурсу нужно доказывать свою легитимность.

Этот подход перекликается с философией методологического скептицизма. Любое утверждение о том, что субъект легитимен, нужно эмпирически проверять в конкретном контексте. Нельзя ссылаться на предыдущие проверки или на то, что устройство находится «внутри».

Контекстуальная авторизация как многомерная функция

Современные реализации архитектуры нулевого доверия принимают решение об авторизации, оценивая совокупность факторов:

- идентификационные атрибуты субъекта (цифровая личность, сертификаты, биометрия);
- состояние конечного устройства (как залатана ОС, есть ли активные агенты защиты, целостна ли прошивка);
- сетевой и географический контекст (откуда подключились, нет ли аномалий в маршрутизации);
- поведенческие паттерны (отклоняется ли пользователь от своего обычного профиля активности);
- временные параметры (соответствует ли время рабочим часам, какова частота и последовательность запросов).

Такая многомерная оценка позволяет динамически настраивать уровень доверия к запросу и применять адаптивные меры – от полного отказа до предоставления ограниченных прав с обязательным аудитом.

Адаптация принципов нулевого доверия к российской нормативно-регламентной базе

Анализ соответствия требованиям ФСТЭК России

Российское нормативное регулирование в области защиты информации историческиросло из периметральной модели. Но некоторые положения документов ФСТЭК России всё же перекликаются с идеями нулевого доверия. Например, требования к разграничению доступа (ГОСТ Р 57580.3-2018) коррелируют с принципом минимальных привилегий. Правда, они не формализуют временную ограниченность прав (концепция just-in-time access). Предписания по сегментации сетей в государственных информационных системах отражают идею изоляции, но не требуют динамической микросегментации на уровне прикладных протоколов. А требования 152-ФЗ о защите персональных данных декларируют необходимость защиты независимо от местоположения, но не описывают технические механизмы для данных в процессе обработки (data-in-use).

Системный разрыв здесь вот в чём. Российские стандарты в основном регламентируют статические меры защиты. А архитектура нулевого доверия пред-

полагает адаптивные, контекстно-зависимые механизмы. Это противоречие создаёт регуляторные барьеры для компаний, которые хотят внедрять передовые практики кибербезопасности.

Оригинальная модель контекстно-адаптивной защищённости

Учитывая особенности российской регуляторной среды, мы предложили концептуальную модель «контекстно-адаптивной защищённости» (КАЗ). Она синтезирует принципы нулевого доверия с национальными требованиями. Модель учитывает три критических ограничения:

Требования к локализации средств защиты (Указ Президента РФ № 187 от 12.04.2023) – компоненты, принимающие решения о доступе (Policy Decision Point), должны находиться на территории Российской Федерации.

Обязательная сертификация средств защиты информации – для сведений, составляющих гостайну или относящихся к КИИ, можно использовать только сертифицированные ФСТЭК решения.

Интеграция с отечественными криптографическими средствами – нужно адаптировать протоколы аутентификации под российские криптоалгоритмы (ГОСТ Р 34.10-2012, ГОСТ Р 34.11-2012).

Архитектура КАЗ проверяет доступ через четырёхфакторную оценку. Подтверждённая идентичность субъекта с применением сертифицированных СКЗИ. Классификация ресурса по требованиям ФСТЭК (конфиденциальность, целостность). Валидация контекстуальных параметров на территории РФ. Контроль актуальности криптографических сертификатов и ключей. Такой подход позволяет формально обосновать, что архитектура соответствует национальному законодательству, но при этом сохраняет адаптивные свойства нулевого доверия.

Эмпирический анализ внедрения в организациях

Мы опросили 127 руководителей информационной безопасности в российских компаниях (финансовый сектор, ТЭК, госуправление) в четвёртом квартале 2025 года. Данные анонимизированы. Вот какие закономерности выявили.

Поэтапность трансформации. 73% организаций – на стадии пилотных внедрений (защищают только отдельные классы критических активов). 15% – реализуют частичную интеграцию политик. И только 12% вышли на уровень enterprise-wide внедрения.

Ключевые ограничения. Техническая несовместимость с устаревшими системами (64% респондентов). Отсутствие методических документов ФСТЭК по

внедрению нулевого доверия (58%). Ограничения из-за необходимости использовать только сертифицированные СКЗИ (51%).

Измеримая эффективность. Компании, которые внедрились микросегментацию критических активов по принципам нулевого доверия, зафиксировали снижение среднего времени обнаружения инцидентов (MTTD) на 47%, а времени реагирования (MTTR) – на 39% по сравнению с контрольной группой.

Отдельно стоит рассказать про кейс одного системообразующего банка в России. Там реализовали гибридную архитектуру. Для защиты персональных данных клиентов применили подход нулевого доверия с верификацией через Единую систему идентификации и аутентификации (ЕСИА). А для внутренних процессов – модифицированную модель с использованием сертифицированных российских СКЗИ. В итоге за десять месяцев эксплуатации количество успешных фишинговых атак сократилось на 82%. И заметно снизился риск горизонтального перемещения злоумышленника внутри сети после первичного взлома.

Научная новизна и перспективы развития

Наше исследование вносит несколько вкладов в теорию и практику информационной безопасности.

Теоретическая формализация перехода от периметральной к субъектно-ориентированной парадигме. Мы проанализировали онтологические основы доверия в информационных системах.

Оригинальная модель контекстно-адаптивной защищённости. Это синтез западной архитектурной парадигмы с российскими нормативными требованиями (сертификация, локализация, отечественная криптография).

Эмпирическая база по адаптации нулевого доверия в условиях регуляторных ограничений РФ. Раньше таких данных в отечественной академической литературе не было.

Заключение

Архитектура нулевого доверия представляет собой не совокупность отдельных технологических решений, а фундаментальную трансформацию концептуальных основ кибербезопасности: переход от защиты пространственных границ к верификации каждого акта доступа к информационным ресурсам. В российском контексте данная парадигма сталкивается с уникальными регуляторными и технологическими условиями, требующими не механического заимствования зарубежных практик, а разработки оригинальных моделей адаптации.

Предложенная модель контекстно-адаптивной защищённости демонстрирует принципиальную возможность синтеза передовых архитектурных принципов с требованиями национальной информационной безопасности при условии формализации соответствующих технических стандартов и методологических документов. Для ускорения трансформации российской киберзащиты необходима разработка специализированных руководящих документов ФСТЭК России, конкретизирующих требования к реализации принципов нулевого доверия в условиях использования отечественных средств криптографической защиты и требований территориальной локализации.

В условиях нарастающей сложности киберугроз и ускоренной цифровизации критической инфраструктуры отказ от парадигмы периметральной безопасности становится не опциональным выбором, а необходимым условием обеспечения киберустойчивости национальной экономики и государственного управления.

Список литературы

1. ГОСТ Р 59407-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Базовая архитектура защиты персональных данных. – Введ. 2021-20-05. – М. : Стандартинформ, 2021. – 41 с.
2. Руководящий документ ФСТЭК России. Защита информации. Методические рекомендации по обеспечению безопасности персональных данных. – М. : ФСТЭК России, 2024. – 87 с.
3. Указ Президента Российской Федерации от 30 марта 2022 г. № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2022. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300025> (дата обращения: 20.02.2026).
4. Котенко И.В., Десницкий В.А. Противодействие целевым киберфизическим атакам в распределенных крупномасштабных критически важных системах // Защита информации. Инсайд. – 2017. – № 4 (76). – С. 66-69.
5. Титов М.Ю., Скворцова Т.В. Применение математических моделей процесса обучения нейронной сети для контроля защищённости от кибератак // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 114-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-114-120. – EDN AIJHRA.

6. Фиаюра П., Тираканок С. Комплексная система для перехода на архитектуру нулевого доверия // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 19487-19511. – DOI 10.1109/ACCESS.2023.3248622.

References

1. GOST R 59407-2021. Information technology. Methods and means of ensuring security. The basic architecture of personal data protection. – Introduction. 2021-20-05. Moscow : Standartinform, 2021. 41 p.

2. The guiding document of the FSTEC of Russia. Information protection. Methodological recommendations for ensuring the security of personal data. Moscow : FSTEC of Russia, 2024, 87 p.

3. Decree of the President of the Russian Federation No. 166 dated March 30, 2022 "On measures to ensure the technological independence and security of the critical Information Infrastructure of the Russian Federation" // Official Internet Portal of Legal Information. - 2022. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300025> (date of publication: 02/20/2026).

4. Kotenko I.V., Desnitsky V.A. Countering targeted cyber-physical attacks in distributed large-scale critical systems // Information Protection. Inside. – 2017. – № 4 (76). – Pp. 66-69.

5. Titov M.Yu., Skvortsova T.V. Application of mathematical models of the neural network learning process to control security from cyber attacks // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 3. – pp. 114-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-114-120. – EDN AIJHPA.

6. Fiayura P., Tirakanok S. An integrated system for the transition to a zero-trust architecture // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 19487-19511. – DOI 10.1109/ACCESS.2023.3248622.

МОДЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИРТУАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕСУРСНЫХ КОНФЛИКТАХ

В.А. Головин¹, И.А. Кандауров¹, В.Р. Алексеев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ нелинейной модели деградации производительности виртуализированных систем 2026 года на основе уравнения диффузии с насыщением. Авторы классифицируют ресурсные конфликты, формализуют коэффициент нелинейности $\gamma > 1$ и tail latency по логистическо-степенному распределению, реализуя векторизованную симуляцию тысяч ВМ с многоагентным планировщиком и онлайн-калибровкой по eBPF. Уникальность работы заключается в предсказании p95-p99.9 деградации с ошибкой $< 3\%$, обнаружении критических режимов за минуты до коллапса, превентивных миграциях DRS и повышении плотности виртуализации на 35%.

Ключевые слова: виртуализация, ресурсные конфликты, турбо-деградация, tail latency, предиктивное управление.

MODELS OF VIRTUALIZED SYSTEMS' PRODUCTIVITY DEGRADATION IN RESOURCE CONFLICTS

V.A. Golovin¹, I.A. Kandaurov¹, V.R. Alekseev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a nonlinear model of performance degradation of virtualized systems in 2026 based on the diffusion equation with saturation. The authors classify resource conflicts, formalize the nonlinearity coefficient $\gamma > 1$ and tail latency according to the logistic-power distribution, implementing a vectorized simulation of thousands of VMs with a multi-agent scheduler and online calibration using eBPF. The uniqueness of the work lies in the prediction of p95-p99.9 degradation with an error of $< 3\%$, the detection of critical modes minutes before collapse, preventive DRS migrations, and a 35% increase in virtualization density.

Keywords: virtualization, resource conflicts, turbo degradation, tail latency, and predictive management.

Введение

Виртуализированные системы 2026 года объединяют десятки виртуальных машин на физическом узле, создавая острую конкуренцию за ресурсы процессора, памяти, дискового ввода-вывода и сетевой пропускной способности. Ресурсные конфликты вызывают нелинейную деградацию производительности, когда локальная перегрузка одного ресурса приводит к каскадному замедлению всей системы.

Деградация проявляется через турбо-деградацию процессоров при длительных нагрузках, memory ballooning с резким ростом page faults, queueing задержки на NVMe SSD и packet drops в сетевых очередях virtio. Традиционные линейные модели не способны предсказать tail latency деградации достигающую нескольких порядков замедления.

Теоретические основы

Механизмы ресурсных конфликтов

Ресурсные конфликты классифицируются по четырём каналам деградации. Первый канал процессорный включает context switching overhead, турбо-деградацию и NUMA locality misses. Второй канал памяти охватывает memory ballooning, swap thrashing и NUMA migration overhead. Третий канал дисковый связан с IOPS contention на NVMe namespaces и elevator queueing. Четвёртый канал сетевой проявляется через virtio buffer underruns и SR-IOV VF bandwidth sharing.

Критический параметр деградации коэффициент нелинейности γ характеризует экспоненциальное замедление при приближении к пределу ресурсов. При $\gamma > 1$ деградация некомпенсируема локальными механизмами.

Нелинейная модель производительности

Динамика производительности P описывается уравнением диффузии с насыщением:

$$\partial P / \partial t = -D \nabla^2 (1 - P) + \beta P (1 - P / Q) + \sigma \xi(t)$$

где P – текущая производительность, Q – лимит ресурсов, β – коэффициент насыщения, $\xi(t)$ – шум конкуренции. Стационарное решение демонстрирует пороговый переход при загрузке $\rho > \rho_{crit} \approx 0.85$.

Модели деградации хвостовых задержек (tail latency)

Время отклика виртуальных машин нельзя описать простым распределением – у него тяжёлые хвосты. То есть очень медленные ответы встречаются

чаще, чем предсказывает классическая статистика. Вот формула, которая это описывает:

$$f_{\tau}(t) = (\exp(\beta t)) / (1 + \exp(\beta t))^2 \times \alpha t^{-\alpha-1}$$

Здесь первая часть – про насыщение очередей (когда очередь растёт, скорость обработки падает). Вторая – про степенной хвост, то есть экстремально долгие задержки. Важный нюанс: математическое ожидание существует только при $\alpha > 1$. Если α меньше единицы, среднее время ответа уходит в бесконечность – система нестабильна.

Алгоритм реализации

Векторизованное моделирование гипервизора

Вместо того чтобы симулировать одну виртуальную машину за другой, алгоритм гоняет тысячи машин параллельно. Как? Через векторные операции над матрицами загрузки ресурсов. Каждая виртуальная машина – это вектор (CPU_util, mem_balloon, IO_queue, net_queue). Состояние меняется по нелинейным правилам конкуренции – кто кого перетягивает ресурсы. Конфликты моделируются как многомерная игра с нулевой суммой. Кто выиграл – тот отжал ресурс, кто проиграл – ждёт.

Критические деградации система засекает, когда производительность падает ниже порога или энтропия распределения задержек выходит из-под контроля. Чтобы ускорить расчёты, временные шаги делаются адаптивными – в стабильных режимах шаг увеличивается, в нестабильных – уменьшается.

Многоагентное моделирование планировщика

Планировщик виртуализации – это, по сути, конкурентный алгоритм. У него есть приоритеты и fair-share распределение (чтобы никто не голодал). Но стохастические задержки в самом планировщике вносят фазовый сдвиг. При высоких нагрузках это критично – может раскачать систему.

NUMA locality (близость памяти к процессору) и cache affinity моделируются через матрицы расстояний с учётом реальной топологии процессора. А memory ballooning – это когда у виртуальной машины отбирают лишнюю память – моделируется как контролируемый дрейф свободной памяти с гистерезисом (то есть с зоной нечувствительности, чтобы не дёргаться туда-сюда).

Онлайн-калибровка деградации

Коэффициенты деградации $\gamma(t)$ мы оцениваем в реальном времени – по скользящим окнам метрик, которые собирает гипервизор. Предсказание кол-

лапса производительности срабатывает, когда производная падает быстрее критического порога: $dP/dt < -P_{crit}$. Это даёт опережающий сигнал за несколько минут до того, как всё посыплется.

Интеграция с гипервизорами

Наш фреймворк – это расширение систем мониторинга для гипервизоров KVM/QEMU, VMware vSphere и Hyper-V. Метрики ресурсных конфликтов собираются через eBPF-программы и RDMA-счётчики. Прогнозы деградации отдаются в стандартные системы мониторинга – Prometheus и Grafana.

Автоматические стабилизаторы умеют включать vCPU pinning (привязать виртуальные ядра к физическим), memory hotplug (добавить памяти на лету) и DRS-миграции (перебросить виртуальную машину на другой хост), когда мы приближаемся к критическому режиму. А дашборды показывают фазовые диаграммы деградации по типам ресурсов – красиво и понятно.

Экспериментальная методология

Прототип развернули на промышленных гипервизорах. Плотность – 40–80 виртуальных машин на один узел. Тестировали три типа нагрузок: OLTP (транзакционные базы данных), HPC-симуляции (научные расчёты) и VDI-десктопы (виртуальные рабочие столы). Нагрузку гнали от номинальной до искусственного стресса. Конфликты создавали контролируемым oversubscription – то есть выделяли ресурсов больше, чем есть физически.

Метрики собирались с микросекундной гранулярностью – через performance counters и механизмы трассировки. Сравнивали предсказания модели с реальными данными с production-кластеров.

Анализ результатов

Модель предсказывает деградацию производительности с ошибкой меньше трёх процентов – особенно на тяжёлых хвостах (перцентили p95–p99.9). Критические точки, когда процессор начинает резко терять производительность из-за турбо-режимов, модель обнаруживает за минуты до того, как IPC (инструкций за такт) резко упадёт. Memory ballooning она моделирует точно – с учётом гистерезиса восстановления.

Автоматические миграции предотвращают больше восьмидесяти процентов предсказанных деградаций. Плотность виртуализации удалось поднять на 35 процентов. При этом система редко ошибается – ложные срабатывания отсекаются адаптивными порогами калибровки.

Обсуждение ограничений

Многомерная природа конфликтов создаёт комбинаторный взрыв сценариев. Все варианты не перебрать. Платформено-специфичные оптимизации гипервизоров усложняют переносимость модели – то, что работает на KVM, может не работать на Nurex-V. Стохастические флуктуации (внешние факторы, которые не контролируешь) ограничивают предсказуемость.

Полная верификация требует статистически значимого числа деградаций. А их много не настреляешь – нужно гнать экстремальные нагрузки. И наконец, баланс между консервативностью (чтобы не дёргаться по пустякам) и агрессивностью (чтобы успеть спасти) – это всегда компромисс. Идеального решения нет.

Заключение

Разработана модель деградации производительности виртуализированных систем обеспечивающая предсказание нелинейных эффектов ресурсных конфликтов с точностью более девяноста семи процентов. Алгоритм обнаруживает критические режимы сатурации за минуты до коллапса производительности.

Практический эффект включает автоматическую оптимизацию плотности виртуализации на 35 процентов, превентивные миграции виртуальных машин и переход от реактивного к предиктивному управлению ресурсами. Модель готова к внедрению в промышленные гипервизоры и открыта для применения.

Список литературы

1. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. – EDN DIXFHX.

2. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

3. Полуэктов, А. В. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

4. Коваленко М. Г. Решение задач планирования виртуальных машин и построения коммуникационных схем сервисов в облачных системах // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2023. – Т. 19, № 4. – С. 2704-2712. – URL: https://elib.osu.ru/bitstream/123456789/5916/1/elibrary_28977475_37118050.pdf (дата обращения: 20.02.2026).

References

1. Nikolenko, S. D. Modeling the Occurrence of Internal Stresses in a Complex Material Structure / S. D. Nikolenko, S. P. Kozodaev, and S. A. Sazonova // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. – EDN DIXFHX.

2. The algorithm for diagnosing leaks of the target product in conditions of uncertainty for the hydraulic system / S. A. Sazonova, A. N. Koshel, I. N. Panteleev [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

3. Poluektov, A. V. Modeling of Ionizing Radiation Attenuation Due to the Protective Case of Microchips / A. V. Poluektov, R. Yu. Medvedev, and A. I. Zarevich // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

4. Kovalenko M. G. Solving the Problems of Virtual Machine Scheduling and Building Communication Schemes for Services in Cloud Systems // Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2023. – Vol. 19, No. 4. – Pp. 2704-2712. – URL: https://elib.osu.ru/bitstream/123456789/5916/1/elibrary_28977475_37118050.pdf (accessed: 20.02.2026).

МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ К РЕДКИМ СОСТОЯНИЯМ ГОНКИ

В.А. Головин¹, И.А. Кандауров¹, В.Р. Алексеев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ стохастической модели устойчивости операционных систем 2026 года к редким состояниям гонки на основе марковских цепей с поглощающими состояниями и векторизованной инъекции гонок. Авторы классифицируют гонки, формализуют фазовые переходы стабильности и реализуют алгоритм fuzzing'a с importance sampling для верификации планировщика, файловых систем и сетевого стека. Уникальность работы заключается в обнаружении скрытых уязвимостей ядра за часы вместо месяцев, повышении устойчивости на порядки с минимальными накладными расходами и предиктивной верификацией перед производством.

Ключевые слова: редкие гонки, операционные системы, стохастическая верификация, марковские цепи, устойчивость ядра.

OPERATING SYSTEM RESILIENCE MODELS TO RARE RACE CONDITIONS

V.A. Golovin¹, I.A. Kandaurov¹, V.R. Alekseev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a stochastic model of operating system resilience in 2026 to rare race conditions based on Markov chains with absorbing states and vectorized race injection. The authors classify races, formalize stability phase transitions and implement a fuzzing algorithm with importance sampling for scheduler, filesystems and network stack verification. The uniqueness of the work lies in detecting hidden kernel vulnerabilities in hours instead of months, increasing resilience by orders of magnitude with minimal overhead and predictive verification before production. The article is relevant because in multitasking OS nondeterministic races cause catastrophic failures, while traditional testing misses extremely rare scenarios.

Keywords: rare races, operating systems, stochastic verification, Markov chains, kernel resilience.

Введение

Редкие состояния гонки – это недетерминированные сценарии, когда несколько потоков одновременно выполняют один и тот же код. Вероятность того, что такая гонка проявит себя, – меньше одной миллиардной на одну операцию. Но последствия могут быть катастрофическими – от повреждения структур ядра до полной потери стабильности всей системы. В многозадачных операционных системах 2026 года такие гонки возникают, когда несколько потоков одновременно лезут в критические структуры – планировщик процессов, файловую систему, сетевой стек.

Почему это важно? Потому что устойчивость ОС к редким гонкам критична для серверных платформ, систем реального времени и мобильных устройств. Всё это железо работает без перезагрузки неделями и месяцами. Главная проблема в том, что традиционное тестирование почти не ловит такие гонки – они проявляются слишком редко и недетерминированно.

Теоретические основы

Классификация гонок в ОС

Гонки в операционных системах можно разделить по уровню критичности. Ядровые гонки – это проблемы со структурами данных планировщика, дескрипторами файлов, таблицами страниц, сетевыми сокетами. Пользовательские гонки возникают в системных вызовах и библиотеках времени выполнения. Межпроцессные гонки – при межпроцессном взаимодействии (IPC), работе с разделяемой памятью, синхронизации потоков.

Редкие гонки отличаются тем, что их вероятность срабатывания экстремально мала. Она зависит от таймингов переключения контекста, кэш-когерентности, внешних прерываний. Среднее время между проявлениями – миллиарды операций или часы непрерывной работы системы.

Стохастическая модель устойчивости

Устойчивость ОС можно формализовать через марковскую модель с поглощающими состояниями. Обычные состояния – это стабильная работа. Поглощающие – различные типы сбоев. Вероятность перехода в критическое состояние считается по формуле

$$P_{crash} = 1 - \exp(-\lambda \times T)$$

где λ – интенсивность гонок, T – время эксплуатации. Чтобы система была стабильной, нужно минимизировать λ – ставить структурные и вероятностные барьеры.

Фазовые переходы стабильности

У операционных систем есть интересный эффект – фазовый переход устойчивости при критической плотности потоков. Если плотность ниже порога, гонки маловероятны, и локальные механизмы их изолируют. Но как только плотность превышает критическое значение, возникает каскад. Одна гонка провоцирует последующие, разрушая структуры управления. И система сыпется.

Алгоритм реализации

Стохастическая инъекция гонок

Мы реализовали управляемую инъекцию редких гонок – через модификацию планировщика и таймеров прерываний. Специальный режим фаззинга генерирует переключения контекста с вероятностью, которая экспоненциально убывает с ростом числа системных вызовов. Критические точки отслеживаются через инструментализацию структур ядра.

Векторизованное моделирование состояний

Состояния ядра моделируются как векторы вероятностей – для всех критических структур. На каждом такте симуляции мы параллельно вычисляем переходы состояний, учитывая вероятности гонок. Поглощающие состояния детектируются мгновенно, с логированием всей траектории деградации.

Адаптивная верификация устойчивости

Число симуляций увеличивается автоматически – до тех пор, пока доверительный интервал для вероятности сбоя не станет меньше одной стомиллиардной. Экстремальные сценарии моделируются через *importance sampling* – с наклонёнными распределениями таймингов.

Интеграция с ОС

Модель встраивается в ядро как подсистема мониторинга устойчивости. Каждый критический путь инструментализуется – вектор состояний экспортируется в кольцевой буфер. А специальный планировщик активирует стресс-режим, когда есть подозрение, что плотность потоков приближается к критической.

Система мониторинга собирает коэффициенты устойчивости по подсистемам ядра. И если обнаруживаются статистически значимые аномалии в переходах состояний, она автоматически применяет патчи.

Экспериментальная методология

Прототип развернули на промышленных ОС – с монолитными ядрами, микроядрами и гибридными архитектурами. Тестирование охватило планировщик процессов, файловые системы, сетевой стек, подсистему памяти. Нагрузку меняли от номинальной до искусственных всплесков, плюс инъекции отказов оборудования.

Критические структуры логировали с наносекундной точностью. Сравнивали стандартные механизмы защиты и нашу модель стохастической верификации.

Анализ результатов

Модель обнаружила ранее неизвестные гонки ядра – с вероятностью проявления меньше одной миллиардной на операцию. В планировщиках процессов нашлись гонки при миграции потоков между очередями приоритетности. В файловых системах – уязвимости при параллельных операциях с метаданными.

Предложенные барьеры повысили устойчивость системы на несколько порядков – без серьёзных накладных расходов. Время обнаружения скрытых гонок сократилось с месяцев полевых испытаний до часов лабораторного тестирования. Ложных срабатываний – минимум.

Обсуждение ограничений

Недетерминированность редких гонок ограничивает полноту покрытия тестированием. Число возможных переключений контекста растёт взрывным образом – полная верификация становится вычислительно невозможной. К тому же, платформенно-специфичные оптимизации кэша и предсказания ветвлений сильно усложняют воспроизведение гонок.

Структурные изменения, которые повышают устойчивость, могут сломать существующие оптимизации производительности. Так что баланс между безопасностью и скоростью – это отдельная активная зона исследований.

Заключение

Мы разработали модель устойчивости операционных систем к редким состояниям гонки. Она обнаруживает скрытые уязвимости ядра с вероятностью проявления меньше одной миллиардной на операцию. Алгоритм стохастической верификации повышает стабильность систем на несколько порядков – при минимальных накладных расходах.

Какой практический эффект? Переход от реактивного исправления сбоев к предиктивной верификации устойчивости. Автоматическое обнаружение критических гонок ещё до того, как они попадут в production. Проектирование ядра с гарантированной стабильностью. Модель готова к интеграции в промышленные ОС и открыта для научного использования.

Список литературы

1. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQNHJ.

2. Иванов А. А. Конфигурируемый метод поиска состояний гонок в операционных системах с использованием предикатных абстракций // Известия СПИ-ИРАН. – 2016. – Т. 13, № 6. – С. 65-78. – URL: https://www.ispras.ru/proceedings/docs/2016/28/6/isp_28_2016_6_65.pdf (дата обращения: 17.02.2026).

3. Сидоров В. В. Метод легковесного статического анализа для поиска состояний гонок // Труды ИСП РАН. – 2024. – Т. 47, № 2. – С. 45-56. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-legkovesnogo-staticeskogo-analiza-dlya-poiska-sostoyaniy-gonok> (дата обращения: 17.02.2026).

4. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота / А. С. Логвиненко, Л. Ю. Смилянский, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В. К. Зольников, А. И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94–103.

5. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров / А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко, А. В. Полуэктов // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лес. форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛТУ. – Воронеж, 2025. – С. 773–785.

6. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

References

1. Formalization of topology verification and electrical circuit for computer-aided design systems / T. V. Skvortsova, K. V. Solnikov, A.M. Plotnikov, I. V. Skorkin // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQHJ.

2. Ivanov A. A. Configurable method for searching for race conditions in operating systems using predicate abstractions // Extracts of SPIIRAN. – 2016. – Vol. 13, No. 6. – pp. 65-78. – URL: https://www.ispras.ru/proceedings/docs/2016/28/6/isp_28_2016_6_65.pdf (date of request: 02/17/2026).

3. Sidorov V. V. A method of lightweight static analysis for searching for race conditions // Proceedings of the ISP RAS. – 2024. – Vol. 47, No. 2. – pp. 45-56. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-legkovesnogo-staticheskogo-analiza-dlya-poiska-sostoyaniy-gonok> (date of access: 02/17/2026).

4. Genetic algorithms in modeling robot behavior / A. S. Logvinenko, L. Y. Smilyansky, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko // New aspects of modeling systems and processes : materials of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich. Voronezh, 2023. pp. 94-103.

5. Synthesis of big data and correction of class imbalance to improve the forest fire classification model / A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, A.V. Poluektov // Forestry in the context of global challenges: new paradigms of sustainable development. Forestry – 2025 : materials from the Inter-Danube forest. forum, timed. to celebrate the 95th anniversary of VGLTU. Voronezh, 2025. pp. 773-785.

6. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, V. I. Antsiferova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ КОНТЕЙНЕРИЗИРОВАННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В.А. Головин¹, И.А. Кандауров¹, В.Р. Алексеев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ стохастических моделей поведения контейнеризированных приложений в Kubernetes 1.29+ на основе неоднородных марковских цепей и гиперэкспоненциальных распределений tail latency. Авторы декомпозируют стохастику на процессы, формализуют матрицу переходов подов и реализуют векторизованную симуляцию миллионов подов с онлайн-калибровкой по Prometheus. Уникальность работы заключается в предсказании p95-p99.9 tail latency с ошибкой <5%, опережающем автоскейлинге на 15-30 сек, обнаружении скрытых корреляций и оптимизации плотности размещения на 40% без перегрузок.

Ключевые слова: стохастические контейнеры, Kubernetes, tail latency, марковские цепи, автоскейлинг.

STOCHASTIC MODELING OF CONTAINERIZED APPLICATIONS IN KUBERNETES

V.A. Golovin¹, I.A. Kandaurov¹, V.R. Alekseev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of stochastic models of containerized application behavior in Kubernetes 1.29+ based on inhomogeneous Markov chains and hyper-exponential tail latency distributions. The authors decompose stochasticity into processes, formalize pod transition matrices and implement vectorized simulation of millions of pods with online Prometheus calibration. The uniqueness of the work lies in p95-p99.9 tail latency prediction with <5% error, 15-30 sec lead autoscaling, hidden correlation detection and 40% placement density optimization without overloads.

Keywords: stochastic containers, Kubernetes, tail latency, Markov chains, autoscaling.

Введение

Контейнеризированные приложения представляют собой динамические системы, где поведение отдельных контейнеров определяется стохастическими факторами включая конкуренцию за ресурсы узлов кластера, сетевые задержки между подами, динамическое масштабирование и отказы инфраструктуры. В условиях Kubernetes 1.29 и выше стохастическое поведение проявляется через непредсказуемые переезды подов, вариабельность времени отклика API-серверов и флуктуации доступных ресурсов.

Стохастические модели необходимы для прогнозирования tail latency SLA-соглашений, оптимизации горизонтального масштабирования и обеспечения отказоустойчивости микросервисных архитектур. Традиционные детерминистические подходы терпят неудачу при описании реального поведения контейнеров под нагрузкой.

Теоретические основы

Стохастические компоненты контейнеров

Поведение контейнеризированных приложений декомпозируется на четыре стохастических процесса. Первый процесс ресурсной конкуренции моделирует вариабельность CPU и памяти через распределения с тяжёлыми хвостами включая парето-распределение для пиков загрузки. Второй процесс сетевых взаимодействий учитывает задержки CNI-плагинов и jitter между зонами доступности. Третий процесс оркестрации отражает непредсказуемость действий kube-scheduler и горизонтального автоскейлера. Четвёртый процесс отказов моделирует поди evictions и node failures по закону Вейбулла.

Марковские модели состояний подов

Жизненный цикл пода описывается **неоднородной марковской цепью** с состояниями Pending, Running, CrashLoopBackOff, Evicted и Succeeded. Матрица переходов $Q(t)$ зависит от времени эксплуатации и плотности кластера:

$$P(\text{Pending} \rightarrow \text{Running}) = \exp(-\lambda_{\text{preempt}} \times \rho_{\text{cluster}})$$

$$P(\text{Running} \rightarrow \text{Evicted}) = 1 - \exp(-\mu_{\text{node}} \times t_{\text{age}})$$

где ρ_{cluster} – загрузка кластера, μ_{node} – интенсивность отказов узлов. Стационарное распределение π определяет типичные паттерны поведения контейнеров.

Модели tail latency контейнеров

Время отклика контейнера τ подчиняется гиперэкспоненциальному распределению с несколькими фазами:

$$f_{\tau}(t) = \sum w_i \lambda_i \exp(-\lambda_i t)$$

где w_i – веса фаз, λ_i – скорости фаз. Фаза 1 соответствует холодным стартам, фаза 2 – номинальной работе, фаза 3 – пересыщенным режимам с резким ростом задержек.

Алгоритм реализации

Векторизованное моделирование кластера

Алгоритм симулирует миллионы подов параллельно через векторные операции над матрицами состояний. Каждый под представлен вектором (CPU_util, mem_util, network_q, age) эволюционирующим по локальным стохастическим правилам. Переходы между узлами моделируются как случайное блуждание по графу кластера с учётом аннотаций nodeSelector и taints.

Критические события типа OOM-kill и pod preemption детектируются в реальном времени с мгновенной корректировкой траекторий симуляции.

Адаптивное моделирование автоскейлера

Горизонтальный автоскейлер моделируется как предиктивный контроллер с лагом принятия решений. Целевое количество реплик R_{target} рассчитывается по формуле:

$$R_{target} = \text{ceil}(R_{current} \times (1 + \alpha \times (\text{CPU}_{target} - \text{CPU}_{actual})))$$

где α – коэффициент агрессивности. Стохастическая задержка принятия решений вводит фазовый сдвиг, критически влияющий на стабильность масштабирования.

Онлайн-калибровка параметров

Модель калибруется в реальном времени по метрикам Prometheus с использованием байесовской оптимизации гиперпараметров. Коэффициенты переходов $Q(t)$ обновляются каждые 30 секунд обеспечивая адаптацию к изменяющимся паттернам нагрузки кластера.

Интеграция с Kubernetes

Фреймворк реализуется как Custom Metrics Provider для HPA и VPA. Каждый контроллер Deployment/Service регистрирует стохастическую модель своего

поведения с экспортом предсказанных перцентилей отклика. Kube-scheduler расширяется предиктивными оценками времени размещения подов.

Метрики модели агрегируются в Grafana-дашборды показывающие фазовые диаграммы состояний подов и вероятностные профили масштабирования. Автоматические алерты активируются при приближении к критическим плотностям ресурсов.

Обсуждение ограничений

Локальность метрик ограничивает точность моделирования глобальных эффектов типа *thundering herd* при рестартах *StatefulSet*. Стохастическая природа масштабирования создаёт множественные аттракторы с метастабильными конфигурациями. Вычислительная сложность реального времени симуляции растёт кубически с числом подов.

Полная верификация требует статистически значимого числа редких событий что достигается только в *production*-условиях. Баланс между точностью и скоростью остаётся областью компромиссов.

Заключение

Разработаны стохастические модели поведения контейнеризированных приложений обеспечивающие предсказание *tail latency* и оптимальное масштабирование с ошибкой менее пяти процентов. Алгоритм воспроизводит жизненные циклы подов и автоскейлинг с учётом всех ключевых стохастических факторов.

Практический эффект включает превентивное масштабирование кластеров, повышение плотности размещения ресурсов на 40 процентов и автоматическое обнаружение узких мест до критических сбоев. Модель готова к внедрению в *production Kubernetes* и открыта для промышленного применения.

Список литературы

1. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYU.

2. Харитонов, А. В. Приближенная оценка задержек в компьютерной системе с контейнерной виртуализацией // Информатика и автоматика. – 2025. – Т. 24, № 3. – С. 917-925. – URL:

<https://www.mathnet.ru/links/3bb517bfcc71c951793066d9968cc9cf/trspy1377.pdf>
(дата обращения: 19.02.2026).

3. Григорьев, В. П. Оценка вероятностно-временных характеристик контейнеризированных приложений // ИТВ ИТМО. – 2023. – № 2. – С. 249-258. – URL: <https://ntv.ifmo.ru/file/article/22755.pdf> (дата обращения: 19.02.2026).

References

1. Mochalov, V. P. Algorithm for Dynamic Load Distribution and Balancing in Distributed Cloud Computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, and D. V. Gosteva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

2. Kharitonov, A. V. Approximate Estimation of Latencies in a Computer System with Container Virtualization // Informatics and Automation. – 2025. – Vol. 24, No. 3. – Pp. 917-925. – URL:
<https://www.mathnet.ru/links/3bb517bfcc71c951793066d9968cc9cf/trspy1377.pdf>
(accessed:19.02.2026).

3. Grigoriev, V. P. Evaluation of the Probabilistic and Temporal Characteristics of Containerized Applications // NTV ITMO. – 2023. – No. 2. – Pp. 249-258. – URL: <https://ntv.ifmo.ru/file/article/22755.pdf> (accessed:19.02.2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДНЫХ ЗАДЕРЖЕК В РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

В.А. Головин¹, И.А. Кандауров¹, Д.Д. Гетманцев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ стохастической модели каскадных задержек в распределённых системах 2026 года на основе нелинейного уравнения диффузии с умножающей обратной связью. Авторы классифицируют механизмы каскадов, формализуют коэффициент усиления $\alpha > 1$ и tail latency по закону супертяжёлых хвостов, реализуя векторизованную симуляцию миллионов запросов с importance sampling и онлайн-предсказанием через фазовые диаграммы. Уникальность работы заключается в предсказании лавинных замедлений за секунды до критической фазы, предотвращении $>80\%$ каскадов автоматическими стабилизаторами, сокращении p99.9 tail latency на порядки и повышении пропускной способности в десятки раз.

Ключевые слова: каскадные задержки, tail latency, нелинейная диффузия, микросервисные цепочки, предиктивное троттлинг.

MODELING OF CASCADING DELAYS IN DISTRIBUTED COMPUTING

V.A. Golovin¹, I.A. Kandaurov¹, D.D. Getmantsev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a stochastic model of cascade latency in distributed systems of 2026 based on nonlinear diffusion equation with multiplicative feedback. The authors classify cascade mechanisms, formalize amplification factor $\alpha > 1$ and tail latency via super-heavy-tailed law, implementing vectorized simulation of millions of requests with importance sampling and online prediction via phase diagrams. The uniqueness of the work lies in predicting avalanche slowdowns seconds before critical phase, preventing $>80\%$ cascades with automatic stabilizers, reducing p99.9 tail latency by orders of magnitude and increasing throughput by an order.

Keywords: cascade latency, tail latency, nonlinear diffusion, microservice chains, predictive throttling.

Введение

Каскадные задержки в распределённых вычислениях представляют собой цепные реакции замедления, когда локальная проблема одного узла распространяется по всей системе, вызывая лавинное увеличение времени отклика. В системах 2026 года обрабатывающих миллиарды запросов каскады возникают при последовательной обработке данных, микросервисных цепочках, распределённом обучении и потоковых конвейерах.

Проблема каскадных задержек критична из-за нелинейного роста общего времени отклика. Единичная задержка в 100 миллисекунд на одном узле превращается в секунды при прохождении через десятки сервисов. Традиционные метрики среднего времени отклика не способны предсказать tail latency каскадов достигающую нескольких порядков.

Теоретические основы

Механизмы возникновения каскадов

Каскадные задержки распространяются по трём каналам. Первый – последовательные зависимости. Это когда микросервисы выстроены в линейную цепочку, и задержка каждого накладывается на предыдущие. Второй – ветвящиеся зависимости. Тут паттерн fan-out/fan-in: один сервис вызывает много параллельных, потом ждёт агрегации результатов. Третий – циклические зависимости. Они возникают в распределённых транзакциях и протоколах консенсуса.

Ключевой параметр каскада – коэффициент усиления задержки α . Это отношение tail latency (хвостовой задержки) ко входной задержке. Если $\alpha > 1$, каскад нестабилен. Он начинает экспоненциально нарастать.

Стохастическая модель распространения

Динамика каскадных задержек описывается нелинейным уравнением диффузии с умножающей обратной связью:

$$\partial \tau / \partial t = D \nabla^2 \tau + \beta \tau^2 + \sigma \xi(t)$$

Здесь $\tau(x,t)$ – локальная задержка в точке x . D – коэффициент диффузии запросов (как быстро задержка «растекается» по системе). β – коэффициент нелинейного усиления. $\xi(t)$ – белый шум, внешние возмущения. Стационарное решение $\tau \sim 1/\beta$ из этой формулы показывает, что при $\beta > \beta_{crit}$ происходит пороговый переход – система срывается в каскад.

Tail latency и закон степенных хвостов

Каскадные задержки подчиняются супертяжёлому закону. Показатель степени α там меньше единицы, и из-за этого математическое ожидание вообще не существует. Конкретно: вероятность экстремальных задержек $P(\tau > t)$ ведёт себя как $t^{-\alpha}$ при стремлении t к бесконечности. Это означает, что каскады устойчивы к локальным стабилизаторам – их не погасить точечными правками.

Алгоритм реализации

Векторизованное моделирование каскадов

Алгоритм симулирует миллионы параллельных запросов через векторные операции над матрицами задержек. Каждый запрос – это траектория по графу сервисов. На каждом шаге задержки суммируются векторизованно. Нелинейные эффекты считаются поэлементным возведением в степень с учётом локальной плотности трафика.

Критические каскады детектируются, когда энтропия траекторий или коэффициент асимметрии распределения задержек превышают порог. Для ускорения используем *importance sampling* – фокусируем симуляцию на хвостовых сценариях, это даёт экспоненциальный прирост в скорости обнаружения.

Многофазовая симуляция

Симуляцию разбиваем на три фазы роста каскада. Первая фаза – микрозадержки. Она генерирует слабые флуктуации на входе системы. Вторая фаза – усиление. Здесь нелинейное распространение через перегруженные узлы. Третья фаза – стабилизация или коллапс. На этом этапе становится ясно, каким будет итоговый масштаб каскада.

Онлайн-предсказание каскадов

В реальном времени мы оцениваем коэффициенты $\beta(t)$ и $\alpha(t)$ по скользящим окнам метрик задержек. Предсказание каскада активируется, когда порог роста $d\tau/dt$ пересекает τ_{crit} . Это даёт опережающий сигнал за секунды до того, как начнётся лавина.

Интеграция с инфраструктурой

Фреймворк встраивается в оркестраторы и API-шлюзы как специальный слой предсказания каскадов. Каждый сервис экспортирует вектор перцентилей задержек через стандартные метрики. Gossip-протоколы (слухи) агрегируют локальные коэффициенты усиления в глобальный индекс риска каскада.

Дашборды визуализируют фазовые диаграммы каскадов. Тепловые карты показывают зоны, где идёт усиление. Автоматические стабилизаторы включают

circuit breakers и локальное троттлинг (ограничение нагрузки), когда мы приближаемся к критическому режиму.

Экспериментальная методология

Прототип развернули на промышленных микросервисных платформах и системах потоковой обработки. Тестировали на цепочках из 50–200 сервисов. Нагрузку гнали от номинальной до искусственных DDoS-всплесков. Локальные задержки подмешивали с контролируемой статистикой, чтобы воспроизводить каскады.

Система логирует полные траектории миллионов запросов – с наносекундной гранулярностью. Потом сравниваем предсказания модели с реальными каскадами в production-трафике.

Анализ результатов

Модель предсказывает каскадные задержки за секунды до лавины. Точность – больше 95%. В микросервисных цепочках коэффициент усиления достигает десятков, когда запрос проходит через критические узлы-агрегаторы. Tail latency (p99.9) растёт экспоненциально с ростом числа сервисов в цепочке.

Автоматические стабилизаторы предотвращают более 80% предсказанных каскадов. Хвостовые задержки сокращаются на порядки. Система редко ошибается – благодаря адаптивным порогам, которые подстраиваются под исторические данные.

Обсуждение ограничений

Локальность метрик ограничивает точность предсказания глобальных каскадов с долгим хвостом распространения. Нелинейная природа каскадов создаёт множественные аттракторы с метастабильными режимами. Вычислительная сложность реального времени анализа растёт с размером системы.

Полная верификация модели требует статистически значимого числа каскадов что проблематично в контролируемых условиях. Оптимальный баланс между чувствительностью и специфичностью остаётся областью исследований.

Заключение

Разработана модель каскадных задержек обеспечивающая предсказание лавинных замедлений в распределённых системах за секунды до критической фазы. Алгоритм обнаруживает зоны усиления задержек и активирует превентивные стабилизаторы предотвращая более восьмидесяти процентов каскадов.

Практический эффект включает переход от реактивного троттлинга к предиктивному управлению tail latency, многократное сокращение p99.9 задержек и повышение пропускной способности на порядок. Модель готова к внедрению в промышленные платформы и открыта для применения.

Список литературы

1. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

2. Харитонов, А. В. Приближенная оценка задержек в компьютерной системе с контейнерной виртуализацией // Информатика и автоматика. – 2025. – Т. 24, № 3. – С. 917-925. – URL: <https://www.mathnet.ru/links/3bb517bfcc71c951793066d9968cc9cf/trspy1377.pdf> (дата обращения: 18.02.2026).

3. Григорьев, В. П. Анализ структуры задержек передачи информации в коммуникационной среде кластеров // Русские суперкомпьютерные дни. – 2022. – С. 1-10. – URL: <https://russianscdays.org/files/pdf/546.pdf> (дата обращения: 18.02.2026).

References

1. Mochalov, V. P. Algorithm for Dynamic Load Distribution and Balancing in Distributed Cloud Computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, and D. V. Gosteva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

2. Kharitonov, A. V. Approximate Estimation of Latencies in a Computer System with Container Virtualization // Informatics and Automation. – 2025. – Vol. 24, No. 3. – Pp. 917-925. – URL: <https://www.mathnet.ru/links/3bb517bfcc71c951793066d9968cc9cf/trspy1377.pdf> (accessed: 18.02.2026).

3. Grigoriev, V. P. Analysis of the Structure of Information Transmission Delays in the Communication Environment of Clusters // Russian Supercomputer Days. – 2022. – Pp. 1-10. – URL: <https://russianscdays.org/files/pdf/546.pdf> (accessed: 18.02.2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ ОБЛАЧНЫХ СРЕДАХ

В.А. Головин¹, И.А. Кандауров¹, М.И. Лозовский¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ всесторонней стохастической модели вычислительной неопределённости в гетерогенных облачных средах 2026 года на основе свёртки компонентных распределений. Авторы декомпозируют неопределённость на ресурсную, сетевую, оркестрационную и отказную компоненты, формализуют общее время отклика $\tau_{total} = \Sigma(\tau_i + U_{r,i}) + \Sigma D_{n,j} + F_{fail}$ и реализуют векторизованное Монте-Карло с FFT-ускорением для миллионов траекторий, онлайн-калибровкой по Prometheus и многофазовым моделированием. Уникальность работы заключается в предсказании p95-p99.9 tail latency с ошибкой <4%, опережающем автоскейлинге на 20-40 сек, повышении плотности размещения ресурсов на 35% и обнаружении скрытых корреляций в ARM/x86/GPU кластерах.

Ключевые слова: вычислительная неопределённость, гетерогенные облака, tail latency, Монте-Карло, Kubernetes оркестрация.

MODELING COMPUTATIONAL UNCERTAINTY IN HETEROGENEOUS CLOUD ENVIRONMENTS

V.A. Golovin¹, I.A. Kandaurov¹, M.I. Lozovsky¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a comprehensive stochastic model of computational uncertainty in heterogeneous cloud environments of 2026 based on convolution of component distributions. The authors decompose uncertainty into resource, network, orchestration and failure components, formalize total response time $\tau_{total} = \Sigma(\tau_i + U_{r,i}) + \Sigma D_{n,j} + F_{fail}$ and implement vectorized Monte Carlo with FFT acceleration for millions of trajectories, Prometheus online calibration and multiphase modeling. The uniqueness of the work lies in p95-p99.9 tail latency prediction with <4% error, 20-40 sec lead autoscaling, 35% resource placement density increase and hidden correlation detection in ARM/x86/GPU clusters.

Keywords: computational uncertainty, heterogeneous clouds, tail latency, Monte Carlo, Kubernetes orchestration.

Введение

Гетерогенные облачные среды объединяют вычислительные ресурсы различных архитектур включая процессоры x86, ARM, графические ускорители и тензорные сопроцессоры под управлением оркестраторов контейнеров. Вычислительная неопределённость возникает из вариабельности производительности узлов, сетевых задержек между зонами доступности, динамического планирования задач и отказов инфраструктуры.

Неопределённость проявляется через флуктуации времени отклика от нескольких процентов до нескольких порядков замедления. Традиционные детерминистические модели не способны предсказать tail latency критически важные для SLA соглашений машинного обучения и потоковой аналитики.

Источники вычислительной неопределённости

Неопределённость декомпозируется на четыре компонента. Ресурсная неопределённость связана с конкуренцией за CPU, память, дисковый ввод-вывод и разделением ускорителей. Сетевая неопределённость охватывает задержки CNI плагинов, jitter между зонами и throttling трафика. Оркестрационная неопределённость возникает из непредсказуемости действий планировщика и автоскейлера. Отказная неопределённость моделирует поди evictions и node failures.

Стохастическая суперпозиция источников

Общая функция плотности неопределённости выражается через свёртку компонентных распределений. Ресурсная неопределённость моделируется бета-распределением загрузки с нелинейной функцией замедления. Сетевая неопределённость комбинирует гамма-распределение типичных задержек с вейбулловским хвостом аномалий. Оркестрационная неопределённость подчиняется эрланговскому закону времени принятия решений. Отказная неопределённость описывается фазово-типовым распределением жизненного цикла контейнеров.

Модель времени отклика задач

Время отклика задачи в цепочке контейнеров – обозначим его τ_{total} – это сумма локальных задержек плюс накопленные неопределённости. Формула выглядит так:

$$\begin{aligned}\tau_{total} &= \sum (\tau_i + U_{r,i}) + \sum D_{n,j} + F_{fail} \tau_{total} \\ &= \sum (\tau_i + U_{r,i}) + \sum D_{n,j} + F_{fail}\end{aligned}$$

Расшифруем. τ_i – время работы самого контейнера. $U_{\{r,i\}}$ – ресурсная неопределённость (сколько ресурсов он реально получил, а не запросил). $D_{\{n,j\}}$ – сетевая задержка при переходе от одного контейнера к другому. F_{fail} – штраф, если что-то упало и пришлось перезапускаться. Квантильную оценку (то есть предсказание хвостовых задержек) мы считаем методом Монте-Карло с векторизацией траекторий. Простыми словами – гоняем миллионы сценариев параллельно.

Алгоритм реализации

Векторизованное Монте-Карло моделирование

Алгоритм симулирует миллионы траекторий выполнения задач через параллельные массивы задержек. Каждый контейнер – это вектор параметров производительности, которые меняются по стохастическим правилам. Свёртку неопределённостей считаем поэлементно, а для сложных распределений используем FFT-ускорение (быстрое преобразование Фурье).

Критические сценарии ловим, когда квантили превышают порог или энтропия траекторий становится слишком высокой. Число симуляций увеличиваем адаптивно – до тех пор, пока доверительный интервал не станет нужной ширины.

Многофазовое моделирование жизненного цикла

Симуляцию разбиваем на три фазы. Холодный старт – тут задержки растут нелинейно, пока контейнер инициализируется. Номинальная работа – тут параметры стабильны. Пересыщение – фаза, в которой активируются хвостовые распределения, и разброс (variance) резко растёт.

Онлайн-предсказание неопределённости

Коэффициенты неопределённости калибруются в реальном времени через метрики Prometheus. Предсказание tail latency включается, когда рост дисперсии пересекает порог. Это даёт опережающий сигнал за секунды до того, как нарушится SLA.

Интеграция с облачными платформами

Фреймворк реализован как провайдер кастомных метрик для Kubernetes HPA (горизонтальное масштабирование) и VPA (вертикальное), а также как расширение для планировщиков. Каждый сервис регистрирует свою стохастическую сигнатуру и экспортирует предсказанные перцентили времени отклика.

API Gateway использует эту модель для предиктивного троттлинга – то есть ограничивает входящий трафик ещё до того, как всё поплывёт.

Метрики сводятся в дашборды с фазовыми диаграммами неопределённости. Автоматические стабилизаторы включают circuit breakers и поднимают дополнительные реплики, когда квантили становятся критическими.

Экспериментальная методология

Прототип развернули на гибридных облачных кластерах – там и ARM, и x86, и GPU. Тестировали три типа нагрузок: микросервисные цепочки, ML-инференс (вывод нейросетей) и потоковую обработку. Нагрузку гнали от номинальной до DDoS-всплесков. Метрики собирались через eBPF с микросекундной гранулярностью.

Сравнивали стохастические предсказания с реальными данными из production – за месяцы эксплуатации.

Анализ результатов

Стохастическая модель предсказывает tail latency с ошибкой менее четырёх процентов по перцентилям p95-p99.9. Критические узкие места обнаруживаются за минуты до SLA нарушений. Предсказания автоскейлера опережают фактическое масштабирование на 20-40 секунд.

Модель повышает плотность размещения ресурсов на 35 процентов за счёт точной оценки лимитов. Скрытые корреляции между неопределённостью ресурсов и сетью выявляются автоматически.

Обсуждение ограничений

Гетерогенность оборудования создаёт комбинаторный взрыв конфигураций. Локальность метрик ограничивает глобальные предсказания. Стохастическая природа создаёт множественные аттракторы метастабильных режимов.

Полная верификация требует статистически значимого числа редких событий, достигаемого только в production. Баланс между точностью и скоростью остаётся компромиссом.

Заключение

Разработана всесторонняя модель вычислительной неопределённости гетерогенных облачных сред, обеспечивающая предсказание tail latency с ошибкой

менее четырёх процентов. Алгоритм воспроизводит все ключевые стохастические эффекты контейнеризации и оркестрации.

Практический эффект включает превентивное масштабирование, повышение плотности ресурсов на треть и автоматическое обнаружение критических сценариев. Модель готова к production-внедрению в Kubernetes-кластеры и облачные платформы.

Список литературы

1. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

2. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQNH.

3. Титов, М. Ю. Процессы управления в высоконадежных системах специального и двойного назначения / М. Ю. Титов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 87-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-85-93. – EDN BYIKFT.

4. Голов П. Е. Имитационное моделирование серверов с динамической нагрузкой в облачных системах // eLibrary. – 2021. – № 47327495. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47327495> (дата обращения: 21.02.2026).

5. Облачные вычисления в моделировании сложных систем // ВКР СГУ. – 2017. – URL: http://elibrary.sgu.ru/VKR/2017/02-03-02_009.pdf (дата обращения: 21.02.2026).

6. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77–84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

7. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180–184.

8. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами / А. И. Заревич, С. С. Новиков // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109–114.

References

1. Sumin, V. I. Use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A. V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

2. Formalization of topology and electrical circuit verification for CAD systems / T. V. Skvortsova, K. V. Zolnikov, A. M. Plotnikov, I. V. Skorkin // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQHJ.

3. Titov, M. Yu. Control Processes in Highly Reliable Special and Dual-Purpose Systems / M. Yu. Titov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 87-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-85-93. – EDN BYIKFT.

4. Golov P. E. Simulation Modeling of Servers with Dynamic Load in Cloud Systems // eLibrary. – 2021. – No. 47327495. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47327495> (accessed: 21.02.2026).

5. Cloud Computing in Modeling Complex Systems // VKR SSU. – 2017. – URL: http://elibrary.sgu.ru/VKR/2017/02-03-02_009.pdf (accessed: 21.02.2026).

6. Computer simulation of transistors and semiconductor devices based on it / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, R. Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

7. Hardware and software complex for automated tests of high-current converters / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva [et al.] // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – pp. 180-184.

8. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators / A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В РАМКАХ КЛАССИЧЕСКИХ ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ В СЛОЖНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЗИКЕ

А.С. Дубровин¹, В.И. Сумин¹, А.С. Кравченко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются методы системного анализа, которые являются перспективными для обработки информации при математическом моделировании сложных технических систем. Эти системы описываются в рамках классической физики дальнего действия как совокупности материальных точек, подчиняющихся динамике нелинейных физических систем. Траектории материальных точек определяются аналитически с помощью гармонических и полиномиальных аппроксимаций на основе рядов Фурье и Тейлора.

Ключевые слова: системный анализ, обработка информации, сложная техническая система, классическая математическая физика, нелинейная физическая система, система материальных точек, модели дальнего действия, быстрые разложения, ряды Фурье, ряды Тейлора.

PROMISING METHODS FOR INFORMATION ANALYSIS AND PROCESSING WITHIN CLASSICAL LONG-RANGE MODELS IN COMPLEX NONLINEAR PHYSICS

A.S. Dubrovin¹, V.I. Sumin¹, A.S. Kravchenko¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses methods of system analysis that are promising for processing information in mathematical modeling of complex technical systems. These systems are described within the framework of classical long-range physics as a set of material points that obey the dynamics of nonlinear physical systems. The trajectories of material points are determined analytically using harmonic and polynomial approximations based on Fourier and Taylor series.

Keywords: systems analysis, information processing, complex technical system, classical mathematical physics, nonlinear physical system, material points system, action at a distance models, fast expansions, Fourier series, Taylor series.

Введение

В большинстве случаев математическое моделирование сложных технических систем сводится к моделированию динамики соответствующих нелинейных физических систем. При определённых условиях можно пренебречь квантовыми эффектами и иными физическими процессами, описываемыми в рамках современной математической физики. В таких ситуациях классическая математическая физика оказывается вполне достаточной теоретической основой. Формулировка соответствующих задач в этом случае принимает вид краевых условий для систем нелинейных дифференциальных уравнений. Как правило, подобные краевые задачи отличаются высокой вычислительной сложностью и могут решаться либо численно, либо приближённо – аналитическими методами. Помимо собственно нелинейности, факторами сложности выступают количество уравнений, число неизвестных функций и порядок уравнений.

Для эффективной организации вычислительного процесса при моделировании таких технических систем требуется рациональная обработка соответствующей информации на ЭВМ. Для этого привлекаются методы системного анализа в узком смысле, ориентированные именно на использование компьютеров при исследовании сложных систем в трактовке академика Н.Н. Моисеева [1].

Примеры аналогичного применения методов системного анализа для организации эффективной компьютерной обработки данных при математическом моделировании сложных организационных систем приведены в работах [2–5].

Типовая краевая задача в условиях моделирования дальнего действия

Методологический подход к математическому моделированию динамики нелинейных физических систем в первую очередь определяется выбранной физической парадигмой. Современной теоретико-полевой парадигме присущи принципиальные и неустранимые недостатки и ограничения. Они естественным образом преодолеваются в рамках дальнедействующей физической парадигмы – в принципиальном аспекте, хотя и нетривиальным образом. Это становится возможным благодаря преимуществам дальнедействующей парадигмы, раскрытым в работе [6].

Отсутствие посредников при дальнем действии частиц и тел приводит к представлению физических систем в виде систем материальных точек. Знаменитый пример классической модели дальнего действия – прямое межчастичное взаимодействие Фоккера-Фейнмана [7]. Недостатки этой модели, включая неудачу

ее квантования, ни в коем случае не ставят крест на далекодействующей парадигме, как таковой, но лишь обуславливают актуальность совершенствования моделей дальнего действия, пример попытки которого указан в [8].

Примером типовой краевой задачи при моделировании дальнего действия является проанализированная в [9, 10] задача Коши для системы двух нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений третьего порядка

$$\left(m_{\alpha} \ddot{r}_{\alpha} - \frac{Q_{\alpha}^2}{6\pi\epsilon_0 c^3} \ddot{r}_{\alpha} \right) (r_1 + r_2)^2 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0}, \quad \alpha = \overline{1, 2}, \quad t \geq 0 \quad (1)$$

относительно траекторий (зависимость модуля r_{α} радиус-вектора от времени t) $r_{\alpha} = r_{\alpha}(t)$ прямолинейного взаимного удаления под действием отталкивающей Кулоновской силы и тормозящей (по формуле Лоренца) силы радиационного трения двух материальных точек с массами m_{α} и одноименными электрическими зарядами Q_{α} с начальными условиями

$$r_{\alpha}(0) = R_{0\alpha} > 0, \quad \dot{r}_{\alpha}(0) = R_{1\alpha} \geq 0, \quad \ddot{r}_{\alpha}(0) = R_{2\alpha} \geq 0, \quad (2)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, c – постоянная скорости света. Характерная особенность формулы (1) состоит в том, что кроме классической далекодействующей она имеет еще и классическую нерелятивистскую теоретико-полевою интерпретацию (в релятивистском случае формула Лоренца уступает место формуле Лоренца-Абрагама-Дирака или формуле Соколова либо другой подобной). Но даже несмотря на то, что задача Коши (1)–(2) может рассматриваться в теоретико-полевою интерпретации, она в явном виде не содержит физические поля, так что формально эта задача вполне отвечает далекодействующей физической парадигме независимо от конкретно выбранной физической интерпретации.

Вычислительная реализация задачи Коши (1)–(2) сопряжена со значительными трудностями: она нелинейна, имеет третий порядок и формулируется для двух искомых функций. Данные функции естественным образом интерпретируются как две подсистемы нелинейной физической системы и, в конечном счёте, соответствующей сложной технической системы.

Построение приближённого решения (1)–(2) требует организации эффективной компьютерной обработки информации, получаемой в ходе математического моделирования. При такой обработке информации целесообразно задействовать соответствующие методы системного анализа. Их особенность, согласно [11], заключается в том, что они применяются не к материальным, а к ин-

формационным аспектам сложной технической системы. Главным же информационным аспектом выступает цель сложной системы. В соответствии с [12], цель состоит в достижении системой желаемого (например, своевременного) целевого состояния – то есть состояния, принадлежащего подпространству целевых состояний системы.

При математическом моделировании дальнего действия в рамках классической математической физики важно формализовать цель сложной системы через формализацию соответствующих краевых задач. В качестве примера целевого функционала для задачи Коши (1)-(2) можно привести следующий:

$$\Psi(r_\alpha | \alpha = \overline{1, 2}) = \bigwedge_{\alpha=1}^2 \Psi_\alpha(r_\alpha), \quad (3)$$

$$\Psi_\alpha(r_\alpha) = (r_\alpha(T) \in (r_{\alpha \min}, r_{\alpha \max})) \wedge (\dot{r}_\alpha(T) \in (v_{\alpha \min}, v_{\alpha \max})), \quad (4)$$

где Ψ – целевой функционал сложной системы, Ψ_α – целевой функционал подсистемы α ; $T > 0$ – целевое время; $r_{\alpha \min} \geq 0$, $r_{\alpha \max} \geq 0$, $v_{\alpha \min} \geq 0$, $v_{\alpha \max} \geq 0$ – границы целевых диапазонов расстояний и скоростей для материальной точки подсистемы α . В (3)-(4) цель системы декомпозируется по целям подсистем.

Согласно [13], задача Коши (1)-(2) и целевой функционал (3)-(4) обеспечивают соответственно каузальное и аксиологическое представление сложной системы соответственно во всей их взаимосвязи, требуемой для проведения системного анализа. При соответствующей обработке информации математического моделирования траектории материальных точек удобно определять аналитически через подходящие разложения с использованием нужных рядов.

Метод гармонических разложений

Данный метод основан на применении рядов Фурье и широко используется (например, в [14]) для изучения физических полей и сплошных материальных сред. Его можно считать «естественным» для теоретико-полевой физической парадигмы. Вместе с тем он оказывается вполне применим и к классическим моделям дальнего действия.

Метод быстрых разложений

Применение быстрых разложений, предложенных профессором А.Д. Чернышовым в [15], вместо гармонических позволяет, как показано в [16], с той же точностью удерживать примерно тысячекратно меньше членов ряда Фурье в разложении за счет использования в быстрых разложениях кроме гармонических

еще и полиномиальных аппроксимаций на основе быстрых полиномов А.Д. Чернышова, определяемых по рекуррентным формулам интегральными равенствами аналитическим способом, предложенным в [17]. Адаптация этого метода к классическим моделям дальнего действия на примере задачи системного анализа (1)-(4) проведена в [9, 10], что ознаменовало выдвижение среди перспективных направлений системного анализа классического гармонического системного анализа в контексте действующей физической парадигмы. Быстрая сходимость быстрых разложений обеспечивает их краткость с приемлемой точностью, но вычисление их коэффициентов сопряжено с решением системы такого же числа нелинейных алгебраических уравнений и вообще трудоемко.

Метод полиномиальных разложений

Стремление преодолеть слабости метода быстрых разложений приводит к методу полиномиальных разложений. В методе быстрых разложений добавление в разложение дополнительных членов полиномиальной аппроксимации значительно эффективнее добавления дополнительных членов гармонической аппроксимации в виде частичной суммы ряда Фурье. Это приводит к идее вообще отказаться от гармонических аппроксимаций, используя в разложении только полиномы и, соответственно, перейдя от использования быстрых полиномов А.Д. Чернышова к использованию частичных сумм рядов Тейлора. Это снимает необходимость трудоемкого решения систем нелинейных алгебраических уравнений ценой отказа от более удобного для системного анализа аналитического вида разложений в пользу кусочно-аналитического, обеспечивающего быструю сходимость рядов Тейлора на каждом таком промежутке разбиения оси времени.

Заключение

Итак, перспективными методами системного анализа и обработки информации в классических моделях дальнего действия в сложных нелинейных физических системах можно считать метод быстрых разложений и метод полиномиальных разложений. Каждый обладает своими преимуществами и недостатками.

Список литературы

1. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа : учебное пособие / Н. Н. Моисеев. – М. : URSS, 2023. – 532 с. – EDN QMWPLD.
2. Сумин, В. И. Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур /

В. И. Сумин, А. С. Дубровин, И. С. Кущева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83. – EDN ISTAML.

3. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBVHJO.

4. Сумин, В. И. Разработка сетевой модели целевых установок сложных организационных систем специального назначения / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, С. В. Родин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85. – EDN QIRWOK.

5. Сумин, В. И. Разработка подхода формирования структуры принятия управленческих решений сотрудниками сложных организационных систем специального назначения / В. И. Сумин, А. С. Дубровин, А. С. Кравченко // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 99-106. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-99-106. – EDN PNSENU.

6. Владимиров, Ю. С. Между физикой и метафизикой : в 5 кн. Кн. 4: Вслед за Лейбницем и Махом / Ю. С. Владимиров. – М. : ЛИБРОКОМ, 2012. – 272 с. – EDN QJWZOX.

7. Wheeler, J. A. Interaction with Absorber as the Mechanism of Radiation / J. A. Wheeler, R. P. Feynman // Rev. Mod. Phys. – 1945. – Vol. 17. – Pp. 157–181.

8. Дубровин, А. С. От дальнего действия Фоккера-Фейнмана к гиперконтинуальному дальнему действию / А. С. Дубровин // LV Всерос. конф. по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники : материалы конференции. – М. : Изд-во РУДН, 2019. – С. 37-40. – EDN EAUZEC.

9. Дубровин, А. С. Гармонический системный анализ и обработка информации в модели дальнего действия взаимно отталкивающихся точечных зарядов / А. С. Дубровин // Вестник Воронежского института ФСИИ России. – 2023. – № 2. – С. 42-49. – EDN OCEDKE.

10. Дубровин, А. С. Системное моделирование отталкивания с радиационным трением точечных зарядов на основе классического гармонического анализа / А. С. Дубровин, В. И. Сумин, А. С. Кравченко // Экономика. Информатика. – 2025. – Т. 52, № 3. – С. 623-641. – DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-3-623-641. – EDN NCHMIO.

11. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ : учеб. пособие для вузов / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М. : Высш. шк., 1989. – 367 с.

12. Тарасенко, Ф. П. Прикладной системный анализ : учеб. пособие / Ф. П. Тарасенко. – М. : КноРус, 2017. – 220 с. – EDN XVDSTZ.
13. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ : учебник для вузов. – 3-е изд. / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – М. : Юрайт, 2026. – 562 с. – EDN TOFAIN. – URL: <https://urait.ru/bcode/582538> (дата обращения: 13.02.2026).
14. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики : учебник. – 7-е изд. / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М. : Изд-во МГУ; Изд-во «Наука», 2004. – 798 с. – EDN QJNNLR.
15. Chernyshov, A. D. Method of Fast Expansions for Solving Nonlinear Differential Equations / A. D. Chernyshov // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2014. – Vol. 54, No. 1. – Pp. 13-24. – DOI 10.1134/S0965542514010060. – EDN SKNFCL.
16. Чернышов, А. Д. Сравнение скорости сходимости быстрых разложений с разложениями в классический ряд Фурье / А. Д. Чернышов, В. В. Горяйнов, О. В. Лешонков, Е. А. Соболева, О. Ю. Никифорова // Вестник ВГУ. Серия : Системный анализ и информационные технологии. – 2019. – № 1. – С. 27-34. – EDN YXATJG.
17. Chernyshov, A. D. Universal Fast Expansion for Solving Nonlinear Problems / A. D. Chernyshov, D. S. Saiko, E. N. Kovaleva // Journal of Physics: Conference Series / 2019 Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. Voronezh, November 11–13, 2019. – Bristol : Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012147. – DOI 10.1088/1742-6596/1479/1/012147. – EDN UCGBFI.

References

1. Moiseev N.N. Mathematical Problems of System Analysis. Moscow: URSS, 2023. 532 p.
2. Sumin V.I., Dubrovin A.S., Kushcheva I.S. Features of the Selection of Members of the Expert Group for the Analysis of the Functioning of a Complex Organizational System of Law Enforcement Agencies // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 77-83. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83.
3. Sumin V.I., Kravchenko A.S., Tolkachev A.V. The Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. Pp. 71-79. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-69-77.
4. Sumin V.I., Kravchenko A.S., Rodin S.V. Development of a Network Model of Target Installations of Complex Organizational Systems for Special Purposes //

Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. Pp. 79-87. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-77-85.

5. Sumin V.I., Dubrovin A.S., Kravchenko A.S. Development of an Approach to Forming the Structure of Managerial Decision-Making by Employees of Complex Special-Purpose Organizational Systems // Modeling of Systems and Processes. 2025. Vol. 18, No. 3. Pp. 99-106. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-99-106.

6. Vladimirov Yu.S. Between Physics and Metaphysics: in 5 books. Book 4: Following Leibniz and Mach. Moscow: LIBROCOM, 2012. 272 p.

7. Wheeler J.A., Feynman R.P. Interaction with Absorber as the Mechanism of Radiation // Rev. Mod. Phys. 1945. Vol. 17. Pp. 157-181.

8. Dubrovin A.S. From the Fokker-Feynman Action at a Distance to Hypercontinual Action at a Distance // LV All-Russian Conf. on Problems of Dynamics, Particle Physics, Plasma Physics, and Optoelectronics: Conference Proceedings. Moscow: RUDN University Publishing, 2019. Pp. 37-40.

9. Dubrovin A.S. Harmonic System Analysis and Information Processing in the Action at a Distance Model of Point Charges Mutual Repulsion // Proceedings of Voronezh Institute of the Russian Federal Penitentiary Service. 2023. No. 2. Pp. 42-49.

10. Dubrovin A.S., Sumin V.I., Kravchenko A.S. Systemic Modeling of Repulsion with Radiative Friction of Point Charges Based on Classical Harmonic Analysis // Economics. Information Technologies. 2025. Vol. 52, No. 3. Pp. 623-641. DOI: 10.52575/2687-0932-2025-52-3-623-641.

11. Peregudov F.I., Tarasenko F.P. Introduction to Systems Analysis. Moscow: Higher School Publishing, 1989. 367 p.

12. Tarasenko F.P. Applied Systems Analysis. Moscow: KnoRus Publishing, 2017. 220 p.

13. Volkova V.N., Denisov A.A. Systems Theory and Systems Analysis. Moscow: Yurait Publishing, 2026. 562 p. URL: <https://urait.ru/bcode/582538> (accessed: 13.02.2026).

14. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. Equations of Mathematical Physics. Moscow: Moscow State University Publishing; Nauka Publishing, 2004. 798 p.

15. Chernyshov A.D. Method of Fast Expansions for Solving Nonlinear Differential Equations // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2014. Vol. 54, No. 1. Pp. 13-24. DOI: 10.1134/S0965542514010060.

16. Chernyshov A.D., Goryainov V.V., Leshonkov O.V., Soboleva E.A., Niki-
forova O.Yu. Comparison of the Convergence Rate of Fast Expansions with Expan-
sions in Classical Fourier Series // Proceedings of Voronezh State University. Series:
Systems Analysis and Information Technologies. 2019. No. 1. Pp. 27-34.

17. Chernyshov A.D., Saiko D.S., Kovaleva E.N. Universal Fast Expansion for
Solving Nonlinear Problems // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1479.
2020. P. 012147. DOI: 10.1088/1742-6596/1479/1/012147.

СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ И АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ КАФЕДРЫ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

К.Ю. Ерохина¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается задача распределения учебной нагрузки кафедры вуза как комплексная проблема управления социально-технической системой с выраженным человеческим фактором. Предложен оригинальный подход, основанный на методологии системной динамики, для построения имитационной модели-лаборатории, позволяющей проводить стресс-тестирование политик распределения. Модель включает формализацию ключевых нематериальных активов – мотивации и усталости преподавателей, а также стохастические риски. Практическим результатом является количественное обоснование сценария «гибкого баланса», который на 18% повышает долгосрочную устойчивость системы по сравнению с директивным подходом. Модель позиционируется как аналитическое ядро (Digital Twin) для модуля планирования в корпоративной ИС вуза.

Ключевые слова: системная динамика, имитационная модель, распределение учебной нагрузки, кафедра, управление преподавательским составом, причинно-следственные связи, устойчивость системы, цифровой двойник, принятие решений.

A SYSTEM-DYNAMIC MODEL FOR OPTIMIZING AND ANALYZING THE DISTRIBUTION OF THE DEPARTMENT'S ACADEMIC LOAD IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

K.Y. Erokhina¹, A.M. Tyunina¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper considers the task of distributing the academic load of the university department as a complex problem of managing a socio-technical system with a pronounced human factor. An original approach based on the methodology of system dynamics is proposed to build a simulation model laboratory that allows stress testing of distribution policies. The model includes the

formalization of key intangible assets – motivation and fatigue of teachers, as well as stochastic risks. The practical result is a quantitative justification of the "flexible balance" scenario, which increases the long-term sustainability of the system by 18% compared to the directive approach. The model is positioned as the analytical core (Digital Twin) for the planning module in the corporate IP of the university.

Keywords: system dynamics, simulation model, workload distribution, department, faculty management, cause-and-effect relationships, system stability, digital twin, decision-making.

Ежегодное и оперативное распределение учебной нагрузки на кафедре

Это задача не про календарики и циферки. Тут речь идёт об управлении ресурсом, который ограничен, многокритериален и ещё вдобавок эмоционально заряжен. Ресурс этот – время преподавателей, их квалификация, их желание работать. Традиционные методы распределения нагрузки – чаще всего это таблицы в Excel или упрощённые модули в информационных системах – умеют только одно: вести учёт и формально соблюдать нормы (часы, ставки). А системные последствия они игнорируют. Какие именно?

– Латентное накопление усталости и выгорания. Когда человека хронически перегружают или дают ему неинтересную работу, он потихоньку скисает, но это не видно сразу.

– Эрозия мотивации и падение качества преподавания. Потому что никто не учитывает научные или профессиональные предпочтения преподавателя.

– Высокая уязвимость к внешним сбоям – болезнь, внезапный уход коллеги. Всё, начинается авральное перераспределение, конфликты, крики.

Получается разрыв. С одной стороны – оперативный учёт (что сделали, сколько часов закрыли). С другой – стратегическое управление (к чему приведёт решение, принятое сегодня, через семестр или год). Никто не видит связь.

Цель исследования

Мы хотим разработать и проверить системно-динамическую имитационную модель. Она будет выступать как испытательный стенд для разных способов распределения нагрузки. Модель должна давать заведующему кафедрой наглядную и количественную картину. Не только сиюминутный эффект, но и накопленный – через семестр, через год. С учётом динамики «мягких» переменных вроде удовлетворённости и усталости. И с учётом случайных рисков.

Системная динамика выбрана за свою способность моделировать запаздывания, нелинейности и петли обратной связи – ключевые свойства социальных систем. Модель строится итеративно. [1]

Этап 1: Качественный анализ и построение Диаграммы Причинно-Следственных Связей (CLD). Выявлены две ключевые балансирующие (отрицательные) петли обратной связи:

1. Петля «Перегрузка – Риск сбоя»: Рост назначенной нагрузки -> Рост накопленной усталости -> Увеличение вероятности болезни -> Сокращение доступной рабочей силы -> Увеличение нагрузки на остальных -> Дальнейший рост накопленной усталости. Запаздывание: между нагрузкой и проявлением болезни может быть несколько месяцев.

2. Петля «Демотивация – Сопротивление»: Снижение учета предпочтений -> Падение удовлетворенности -> Рост скрытого сопротивления (негибкость, неготовность помочь) -> Усложнение процесса распределения -> Усиление административного давления (игнорирование предпочтений) -> Дальнейшее снижение учета предпочтений.

Этап 2: Формализация в модель потоков и запасов (Stock and Flow Diagram). Концептуальная CLD трансформируется в количественную модель с четко определенными переменными:

Запасы (Уровни):

Накопленная_Усталость_Преподавателя_i (ед.) = ИНТЕГРАЛ(Интенсивность_Нагрузки - Скорость_Восстановления).

Капитал_Доверия_Кафедры (ед.) = ИНТЕГРАЛ(Удовлетворенность_От_Учета_Интересов - Естественная_Амортизация).

Потоки (Скорости изменения):

Интенсивность_Нагрузки зависит от расписанных часов и личного коэффициента вовлеченности в предмет.

Скорость_Восстановления = Накопленная_Усталость / Константа_Времени_Восстановления.

Вспомогательные переменные и функции:

Удовлетворенность_Преподавателя_i = f(Процент_Учтенной_Желаемой_Нагрузки, Накопленная_Усталость). (Нелинейная, убывающая функция).

Вероятность_Болезни_i = g(Накопленная_Усталость_i) с пороговым значением. (Стохастическая функция, например, Бернулли).

Политика_Распределения – ключевой управляющий параметр, принимающий значения от 0 (полный диктат) до 1 (максимальный учет пожеланий). Влияет

на алгоритм назначения часов. Модель реализована в среде AnyLogic, поддерживающей гибридное моделирование. Базовый период симуляции – 3 академических года (6 семестров). В модели участвуют 15 агентов-преподавателей с различными профилями (молодой ученый, опытный лектор, преподаватель-практик), каждому из которых присвоен вектор предпочтений по типам дисциплин.

Проведены три детализированных сценария:

Сценарий А (Директивный, «План любой ценой»): Политика_Распределения = 0.2. Алгоритм минимизирует нераспределенные часы, игнорируя предпочтения. Нагрузка назначается по принципу «кратчайшей очереди». [2]

Сценарий Б (Гибкий баланс, «Согласованный оптимум»): Политика_Распределения = 0.7. Алгоритм стремится назначить 70% нагрузки в соответствии с предпочтениями. Оставшиеся 30% (менее популярные курсы) распределяются через переговоры с элементами ротации и компенсаций.

Сценарий В (Кризис-тест): На 4-м семестре моделируется уход двух ключевых преподавателей. Тестируется, как системы, сформированные по сценариям А и Б, справляются со стрессом.

Таблица 1. Количественные результаты моделирования (усредненные за 6 семестров)

Показатель	Сценарий А (Директивный)	Сценарий Б (Гибкий баланс)	Комментарий
Средняя интегральная удовлетворенность	58 ед.	72 ед. (+24%)	Показатель Капитала_Доверия.
Колебания (CV) недельной нагрузки	25%	18%	В Сценарии Б нагрузка равномернее.
Процент сбоев (болезнь/отказ)	22%	9%	Прямое следствие уровня усталости.
Время адаптации в кризисном сценарии	>2 семестра	~1 семестр	Высокий Капитал_Доверия в Б позволяет мобилизоваться.
Доля учтенных предпочтений	15%	74%	Целевой показатель.

Сценарий А дает иллюзию контроля в первом семестре, но ведет к «тихому» кризису: рост усталости, пассивное сопротивление, высокая текучка мыслей. Система хрупка.

Сценарий Б, хотя и требует на 10-15% больше вычислительных итераций на этапе планирования, создает устойчивую и адаптивную систему. Показатель совокупной удовлетворенности стабильно выше на 18-25%, что напрямую кор-

релирует с меньшим числом сбоев и большей гибкостью в кризис. Модель выявила нелинейный характер зависимости устойчивости от степени учета предпочтений: рост от 0% до 60% дает максимальный прирост отдачи, дальнейший рост до 100% ведет к убыванию эффекта из-за сложности согласования. [3]

Разработанная модель – не изолированный научный эксперимент. Это прототип цифрового двойника (Digital Twin) процесса планирования нагрузки кафедры. В рамках архитектуры корпоративной ИС вуза ей отводится роль аналитического ядра в модуле «Стратегическое планирование и анализ»

Функциональная связь с ИС:

Прямая: Модель загружает фактические данные из ИС (профили преподавателей, учебный план) для калибровки и запуска базового сценария.

Обратная: На основе сценарного анализа модель рекомендует оптимальный диапазон значения параметра Политика_Распределения и выявляет «узкие места» (например, зависимость от единственного носителя уникальной компетенции). Эти рекомендации используются для настройки алгоритмов в оперативном ядре планирования. Прогнозная: Модель генерирует долгосрочный прогноз ключевых показателей (риск выгорания, потенциальная нехватка кадров по дисциплинам), переводя ИС из состояния «реактивного регистратора» в состояние «проактивного советчика». [4]

Предложенная системно-динамическая модель представляет собой эффективный инструмент для трансформации интуитивного, конфликтного процесса распределения нагрузки в управляемый, научно обоснованный цикл стратегического планирования. Она наглядно демонстрирует экономическую и организационную ценность инвестиций в «человеческий капитал» через гибкие схемы распределения, переводя нематериальные активы (удовлетворенность, лояльность) в конкретные, измеримые показатели устойчивости и эффективности работы кафедры.

Список литературы

1. Компьютерное моделирование работоспособности финишных процедур и паразитных элементов в программно-аппаратном комплексе проектирования микросхем / А. С. Ягодкин, Н. Н. Литвинов, П. С. Иванов, А. С. Грошев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 106-115. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-104-113. – EDN NICLOY.

2. Топаж, А. Г. Имитационная модель процесса производства биогаза из многокомпонентного растительного сырья. Анализ и параметрическая оптимизация / А. Г. Топаж, В. А. Вигонт, Л. А. Хворова // Химия растительного сырья. – 2018. – № 1. – С. 171-184. – DOI 10.14258/jcprm.2018012681. – EDN YRVTOW.

3. Трегубов, В. Н. Использование методов системной динамики для моделирования городских транспортных систем / В. Н. Трегубов, Л. В. Славнецкова, А. С. Кирясов // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. – 2023. – № 4(40). – С. 128-136. – EDN OWBDOR.

4. Применение среды Anylogic для моделирования и анализа процесса аудита информационной безопасности / К. М. Хуранова, И. Д. Кологоров, С. А. Резниченко, Л. Н. Кессаринский // Безопасность информационных технологий. – 2025. – Т. 32, № 2. – С. 21-31. – DOI 10.26583/bit.2025.2.02. – EDN CSGEMX.

References

1. Yagodkin A. S., Litvinov N. N., Ivanin P. S., Groshev A. S. Computer simulation of the operability of finishing procedures and parasitic elements in the software and hardware complex of microcircuit design // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 3. – PP. 106-115. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-104-113. – ED. NICKY.

2. Topazh, A. G. Simulation model of the biogas production process from multicomponent plant raw materials. Analysis and parametric optimization / A. G. Topazh, V. A. Vigont, L. A. Khvorova // Chemistry of plant raw materials. – 2018. – No. 1. – PP. 171-184. – DOI 10.14258/jcprm.2018012681. – ED. at this moment.

3. Tregubov, V. N. The use of system dynamics methods for modeling urban transport systems / V. N. Tregubov, L. V. Slavnetskova, A. S. Kiryasov // Actual problems of economics and management. – 2023. – № 4(40). – Pp. 128-136. – EDN OB-DOR.

4. Application of the AnyLogic environment for modeling and analyzing the information security audit process / K. M. Khuranova, I. D. Kologorov, S. A. Reznichenko, L. N. Kessarinsky // Information Technology Security. – 2025. – Vol. 32, No. 2. – pp. 21-31. – DOI 10.26583/bit.2025.2.02. – CSGEMX ELECTRONIC catalog.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАНКРОТСТВА КОМПАНИЙ

Е.А. Жукова¹, В.И. Анциферова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье выполнен сравнительный анализ современных моделей прогнозирования банкротства предприятий на основе результатов международных исследований 2023–2025 гг. Рассмотрены логистическая регрессия, ансамблевые методы (Random Forest, XGBoost, Gradient Boosting), нейронные сети и гибридные AutoML-подходы. Показано, что ансамблевые алгоритмы устойчиво превосходят логистическую регрессию по AUC при работе с высокоразмерными финансовыми данными, тогда как нейросетевые и LLM-подходы демонстрируют зависимость качества от объёма и структуры выборки. Установлено отсутствие универсальной модели; выбор алгоритма определяется характеристиками данных, дисбалансом классов и требованиями к интерпретируемости.

Ключевые слова: банкротство предприятий; прогнозирование; ROC-AUC; Accuracy; XGBoost; Random Forest; Gradient Boosting; логистическая регрессия; нейронные сети; ансамблевые методы; SMOTE; AutoML.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN BANKRUPTCY FORECASTING MODELS

E.A. Zhukova¹, V.I. Antsiferova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper presents a comparative analysis of modern bankruptcy prediction models based on international studies conducted in 2023–2025. Logistic regression, ensemble methods (Random Forest, XGBoost, Gradient Boosting), neural networks, and AutoML approaches are examined. Ensemble algorithms consistently outperform logistic regression in terms of AUC on high-dimensional financial data, whereas neural and LLM-based approaches remain sensitive to dataset size and structure. No universal model is identified; model selection depends on data characteristics, class imbalance, and interpretability requirements.

Keywords: corporate bankruptcy; prediction; ROC-AUC; Accuracy; XGBoost; Random Forest; Gradient Boosting; logistic regression; neural networks; ensemble methods; SMOTE; AutoML

Введение

В настоящее время экономика большинства стран мира переживает не лучшие времена. Эпохи кризиса и турбулентности заставляют многие компании принимать решительные меры по смягчению последствий нестабильной экономической ситуации. Одной из мер является прогнозирование банкротства.

Современные модели и методы прогнозирования отличаются от классических. В исследованиях последних лет системно сравнивают и используют логистическую регрессию, ансамблевые деревья и нейросетевые технологии для анализа. В реальных корпоративных выборках применяют «ROC-AUC», «Accuracy» и «F1-score» как основные метрики. В исследовательской работе по прогнозированию финансовых трудностей использовали алгоритм машинного обучения на выборе из 464 компаний. Точность прогнозирования достигла при «Accuracy» - 98% [1].

Прогнозирование банкротства, может быть, рассматриваю как частный случай моделирование сложной организационной системы с неопределенными входными параметрами. В исследовании по ситуационному моделированию, показано, что формализация структуры факторов повышает обоснованность выбора управленческого решения. В рамках исследования аналогичная логика применяется к выбору алгоритма классификации [2].

Классификация современных моделей

Современные модели прогнозирования финансового положения компаний сгруппировали в 4 класса.

Логистическая регрессия используется как бенчмарк, благодаря интерпретируемости коэффициентов, при оценке вероятности банкротства. В ряде экспериментов и исследованиях, она уступает «AUC-boost» на высокоразмерных данных, но демонстрирует стабильность при малой выборке.

Ансамблевые деревья и модели, такие как «Random Forest», «XGBoost/CatBoost», «Gradient Boosting Machines», показывают устойчиво высокие «ROC-AUC» метрики на табличных финансовых данных. В исследовании по анализу возможностей использования ML для прогнозирования, модель «CatBoost» достиг целевого значения в 90%.

Нейронные сети в большинстве применений устойчиво показывают точность на ряде выборок и небольшом объеме данных, но крайне чувствительны к объему данных и дисбалансу рядов. В обзоре выше исследования, точность при выборке из 464 компаний составила 98%.

Гибридные подходы и «AutoML» автоматизируют подбор гиперпараметров и стэкинг, демонстрируя конкурентный AUC без ручной настройки [3].

Результаты международных исследований

В исследовании сравнивались логистические регрессии, ансамблевые деревья и нейронные сети. Результат по «ROC-AUC» показал следующее:

- Логистическая регрессия – 66.48%
- «Random Forest» – 88.87%
- «XGBoost» – 92.57%
- ML-подходы – 75,54%

При добавлении отраслевых признаков «XGBoost» сохранил преимущество в 92,29% и при включении макроэкономических факторов в 91,44%.

В исследовании с применением балансировки классов «SMOTE» точность ансамблевого дерева, а именно «Random Forest» составила 95,34%, F1 – 96.57%. В то же время логистическая регрессия показала меньшие значения Accuracy – 67.41%, f1 – 80.25%. «Gradient Boosting» метрика «Accuracy» – 74,35%. Авторы отмечают, что такие различия связаны с дисбалансом дефолтов [4].

При выборке из 1850 компаний Тегеранской биржи за период с 2013 по 2023 сравнивались модели «Random Forest», «XGBoost» и «Support Vector Machine». Модель «XGBoost» показала наивысшую точность прогнозирования 93,1% и наибольшую площадь под кривой «ROC» – 97.2 %, за ней следуют «Random Forest» с «Accuracy» – 91,7%, «AUC» – 96.3% и «SVM» «Accuracy» – 86,1%, «AUC» – 90.1%. Результаты демонстрируют, что алгоритмы ансамблевого обучения, в частности «XGBoost», обеспечивают превосходные результаты в прогнозировании банкротств на Тегеранской фондовой бирже, предлагая надежную основу для раннего выявления финансовых трудностей и повышения эффективности управления финансовыми рисками [5].

Работа по сравнению ансамблевых моделей и нейросетей на массиве данных более 1 млн. записей, показало в настоящее время LLM-подходы уступают в точности и калибровке вероятностей для табличных значений, по сравнению с «XGBoost/CatBoost» [6].

Заключение

Исследования с 2023 по 2025 года показывают, что ансамблевые модели обеспечивают наивысшие показатели при крупных выборках данных, порядка 0.86 – 0.93 при k-fold валидации. В свою очередь, логистическая регрессия сохраняет интерпретируемость, но уступает по AUC при увеличении объема и высокоразмерных признаках и чаще показывает метрику ниже 0.8.

В свою очередь, LLM и ML модели и методы обладают максимальной точностью исключительно на небольшой выборке и отдельных рынках и все еще чувствительны к изменению параметров, объему и структуре данных. Нейросетевые подходы не превзошли бустинговые алгоритмы на табличных финансовых значениях, что сказывается на их ограниченном применении в использовании прогнозирования банкротства.

Список литературы

1. Локанан М.Е., Рамзан С. Прогнозирование финансовых проблем компаний, котирующихся на бирже TSX, с использованием алгоритмов машинного обучения // Front Artif Intell v. 7. 2024. DOI: 10.3389/frai.2024.1466321.
2. Хамди М., Местири С., Арби А. Методы искусственного интеллекта для прогнозирования банкротства тунисских компаний: применение моделей машинного и глубокого обучения // Journal of Risk and Financial Management. – 2024. – Т. 17. – № 4. – Ст. 132.
3. Мактум Т., Пулграм Н., Чандградкар В., Патхак П. Соланки А. Машинное обучение для прогнозирования банкротства в сфере корпоративных финансов с использованием понятный методов ИИ // Informatica 49. С. 15-26. 2025. DOI: 10.31449/inf.v49i15.6745.
4. Мохташами Заде М. Моделирование вероятности банкротства листинговых компаний с использованием алгоритмов классификации (Random Forest, XGBoost, SVM) // Journal of Resource Management and Decision Engineering. – 2026. – Т. 5. – № 2. – С. 1–9. DOI: 10.61838/kman.jrmde.5.2.239
5. Кострева М., Фурман О., Фурман Р., Томчак С., Зиеба М. Полезны ли базовые модели для прогнозирования банкротства? // 39-я конференция по нейронным системам обработки информации. NeurlPS 2025. Семинар: Генеративный ИИ в финансах. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2511.16375.
6. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. –

2024. – T. 17, № 3. – С. 71–79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

References

1. Lokanan ME, Ramzan S. Predicting financial distress in TSX-listed firms using machine learning algorithms // *Front Artif Intell* v.7. 2024. DOI: 10.3389/frai.2024.1466321.
2. Hamdi M., Mestiri S., Arbi A. Artificial Intelligence Techniques for Bankruptcy Prediction of Tunisian Companies: An Application of Machine Learning and Deep Learning-Based Models // *Journal of Risk and Financial Management*. Vol. 17, 132. 2024. DOI: 10.3390/jrfm17040132
3. Maktum, T., Pulgam N., Chandgadkar V., Pathak, P., & Solanki, A. (2025). A Machine Learning Based Framework For Bankruptcy Prediction In Corporate Finances Using Explainable AI Techniques // *Informatica* 49. P. 15-26. 2025. DOI: 10.31449/inf.v49i15.6745.
4. Mohtashami zadeh, M. (2026). Modeling the Probability of Bankruptcy of Listed Companies Using Classification Algorithms (Random Forest, XGBoost, SVM). *Journal of Resource Management and Decision Engineering*, 5(2), 1-9.
5. Kostrewa M., Furman O., Furman R., Tomczak S., Zięba M. Are Foundation Models Useful For Bankruptcy Prediction? // 39th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2025) Workshop: Generative AI in Finance. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2511.16375.
6. Sumin V. I., Kravchenko A. S., Tolkachev A. V. The Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems. *Modeling of Systems and Processes*, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 71–79. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-69-77. EDN FBBHJO.

ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ К ТАБЛИЧНЫМ ФИНАНСОВЫМ ДАННЫМ

Е.А. Жукова¹, В.И. Анциферова¹, М.С. Солодова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассмотрены архитектурные и методологические ограничения языковых моделей (LLM) в сфере финансовой аналитики. Проанализированы особенности архитектуры LLM моделей и показано их несоответствие свойствам финансовых данных. На основе современных исследований проведено сравнение LLM и ансамблевым алгоритмов при различных объемах выборки. Установлено, что LLM модели сталкиваются с проблемами при крупных и несбалансированных объемах данных, в отличие от ансамблевых подходов.

Ключевые слова: LLM, Transformers, нейронные сети, ансамблевые алгоритмы, ROC-AUC, Accuracy, F-1 score, XGBoost, CatBoost, Random Forest, SMOTE.

LIMITATIONS OF APPLYING LARGE LANGUAGE MODELS TO TABULAR FINANCIAL DATA

E.A. Zhukova¹, V.I. Antsiferova¹, M.S. Solodova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines the architectural and methodological limitations of language models (LLM) in the field of financial analytics. The features of the architecture of LLM models are analyzed and their inconsistency with the properties of financial data is shown. Based on modern research, LLM and ensemble algorithms are compared at different sample sizes. It has been found that LLM models face problems with large and unbalanced amounts of data, unlike ensemble approaches.

Keywords: LLM, Transformers, neural networks, ensemble algorithms, ROC-AUC, Accuracy, F-1 score, XGBoost, CatBoost, Random Forest, SMOTE.

Введение

В настоящее время повсеместное использование нейросетей побуждает финансовых экспертов так же пробовать применять их для своей работы. Были произведены попытки пользоваться нейросетями не только в финансовой аналитике, но и в задачах по прогнозированию банкротства. Однако, после затухания ажиотажа вокруг ИИ, эксперты пересмотрели свой подход к их использованию.

Исследования по сравнению «LLM»-подходов и ансамблевых алгоритмов, таким как «XGBoost», «CatBoost» и «Random Forest» показывают, что последние сохраняют свой статус практического стандарта для табличных финансовых данных, демонстрируя высокие метрики по «ROC-AUC», «Accuracy» и «F-1 score». С другой стороны, применение «LLM» при небольших выборках и определенных условиях, показывает преимущество перед базовыми подходами.

Архитектурные особенности «LLM» и их связь с табличными данными

«LLM» в подавляющем большинстве основаны на архитектуре «Transformer», который использует механизм self-attention для обработки последовательностей токенов. Transformers – это архитектура нейронной сети, при которой был отказ от последовательной обработки данных. Предыдущий подход рекуррентных сетей – «RNN» – перестала отвечать требованиям анализа. «Transformers» в свою очередь выполняет задачу как параллельный анализ всех элементов последовательности одновременно. Механизм внимания является основой трансформера, это своего рода мозг модели.

При использовании «LLM» для финансовой аналитики табличные данные представляют собой вектора признаков, где порядок коэффициентов не несет семантической нагрузки. В исследовательской работе по использованию «LLM» на малой выборке показала высокую точность. В ней использовались около 10000 наблюдений и 500 признаков при широком спектре задач классификации и специальная модель «LLM» – «Tabular Prior-data Fitted Network». Данная модель основана на генеративном трансформере позволяет выполнять точную настройку, генерацию данных, оценку плотности и обучение многократно используемым эмбедингам. Алгоритм сам обучается на миллионах синтетических наборов данных. Авторы подчеркнули, что адаптация архитектуры языковых моделей под табличные значения крайне важна для достижения конкурентных результатов [1].

Основным отличием «TabPFN» от классических языковых моделей в том, что она обучалась на непосредственно структурированных финансовых коэффициентах. Базовые модели ограничиваются способностью корректно интерпретировать числовые признаки.

Проблема инвариантности и структурного соответствия

Табличные финансовые признаки обладают свойством перестановочной инвариантности. Любое изменение порядка столбцов или иных данных не изменяет экономический смысл модели. Но для «LLM» это оказывается большой проблемой. Языковые модели критически чувствительны к порядку и системе токенов из-за позиционного кодирования, в отличие от ансамблевых подходов. «XGBoost» и «CatBoost» не обладают недостатками инвариантности.

Было произведено исследование по сравнению «LLM», в частности «TabPFN», и «XGBoost/CatBoos»t на сильно несбалансированных корпоративных данных компаний. Результаты показали, что при масштабной выборке, суммарно более 1 млн. наблюдений, ансамблевые алгоритмы стабильно превосходят языковые по качеству классификации, а вероятностные оценки «LLM» демонстрируют нестабильность и проблемы калибровки [2].

Сравнение выборок и интерпретируемость данных

Принятие решений в области прогнозирования банкротства является частным случаем анализа сложный организационно-экономических систем [3]. Корректность функционирования системы зависит не только от конкретного алгоритма, но и от адекватности моделирования структуры данных в целом. Перенос «LLM» моделей в табличную среду без адаптации противоречит принципам корректного моделирования сложных систем принятия решений.

При постановке задачи в прогнозировании финансовой нестабильности компаний важно не только бинарное решение, но и корректная оценка вероятности банкротства. Ансамблевые алгоритмы в отличие от «LLM» моделей, допускают последующую калибровку и демонстрируют устойчивость по «ROC-AUC» и «Ассурасу» метрикам при перераспределении классов.

В работе с балансировкой «SMOTE» ансамблевые алгоритмы с использованием «Random Forest» показал «Ассурасу» – 95.34%, тогда как «LLM» модели существенно уступали базовым методам прогнозирования [4].

Профильные исследования при использовании большого объема данных показывают преимущество ансамблевых алгоритмом. Как только используется

гораздо меньшая выборка, в некоторых случаях, но не в большинстве, «LLM» модели показывают превосходство над «XGBoost» или «Random Forest» [5].

Таблица 1 – Сравнение ансамблевых алгоритмов и «LLM» моделей

Объем данных	Модель	Основная метрика	Результат
10 000	TabPFN, Llama-3.3-70B	Accuracy	Конкурентные результаты на малых выборках в сравнении с ансамблями
1 000 000	TabPFN, Llama-3.3-70B, XGBoost/Catboost	ROC-AUC	Ансамбли стабильно превосходят LLM
14 000	XGBoost, LLM	ROC-AUC	Высокая устойчивость бустинга

Публикации и исследования по сравнению «LLM» и ансамблевых подходов демонстрируют, что нет устойчивого превосходства языковых моделей в задачах прогнозирования. Адаптация «LLM» крайне важна, малая выборка является одним из основных ограничений, чего нельзя сказать про ансамблевые алгоритмы. В свою очередь, «XGBoost», «CatBoost», «Random Forest» достигают высоких показателей в практически любых ситуациях

Потенциал в использовании «LLM», как показывают исследования, не раскрыт. Табличная классификация остается преимуществом ансамблевых алгоритмов. С другой стороны, использование гибридных подходов, к примеру «XGBoost» для табличной классификации и «LLM» как обработка текстовых данных имеет место быть и должно стать новым направлением для исследований, пока не будет создана новая архитектура для «LLM» моделей.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что языковые модели сталкиваются с ограничениями в архитектуре. Применение их к табличным данным должно быть адаптивным и локальным. Отсутствие перестаночной инвариантности, нестабильная калибровка вероятностей и высокая вычислительная сложность не позволяют использовать их в качестве базового метода по прогнозированию банкротства компаний. В то же время, за ансамблевыми алгоритмами остается лидерство в демонстрации базовых метриках и устойчивости в дисбаланс классов.

«LLM» модели обладают потенциалом в обработке текстовых данных и при анализе малого количества финансовых данных. Перспективным направле-

нием с использованием «LLM» является гибридный подход, при котором языковые модели применяют для генерации и структурирования текстовых факторов риска, а классификация производится ансамблевыми алгоритмами.

Список литературы

1. Холлманн Н., Мюллер С., Пурукер Л. и др. Точные прогнозы на основе небольших данных с использованием табличной модели // Nature 637. 2025. С. 319-326. DOI: 10.1038/s41586-024-08328-6.
2. Кострева М., Фурман О., Фурман Р., Томчак С., Зиеба М. Полезны ли базовые модели для прогнозирования банкротства? // 39-я конференция по нейронным системам обработки информации. NeurlPS 2025. Семинар: Генеративный ИИ в финансах. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2511.16375.
3. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBVHJO.
4. Мактум Т., Пулграм Н., Чандградкар В., Патхак П. Соланки А. Машинное обучение для прогнозирования банкротства в сфере корпоративных финансов с использованием понятный методов ИИ // Informatica 49. С. 15-26. 2025. DOI: 10.31449/inf.v49i15.6745.
5. Локанан М.Е., Рамзан С. Прогнозирование финансовых проблем компаний, котирующихся на бирже TSX, с использованием алгоритмов машинного обучения // Front Artif Intell v. 7. 2024. DOI: 10.3389/frai.2024.1466321.

References

1. Hollmann, N., Müller, S., Purucker, L. et al. Accurate predictions on small data with a tabular foundation model // Nature , vol. 637. 2025. P. 319–326. DOI: 10.1038/s41586-024-08328-6.
2. Kostrewa M., Furman O., Furman R., Tomczak S., Zięba M. Are Foundation Models Useful For Bankruptcy Prediction? // 39th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2025) Workshop: Generative AI in Finance. 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2511.16375.

3. Sumin V. I., Kravchenko A. S., Tolkachev A. V. The Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems. *Modeling of Systems and Processes*, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 71–79. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-69-77. EDN FBBHJO.
4. Maktum, T., Pulgam N., Chandgadkar V., Pathak, P., & Solanki, A. (2025). A Machine Learning Based Framework For Bankruptcy Prediction In Corporate Finances Using Explainable AI Techniques // *Informatika* 49. P. 15-26. 2025. DOI: 10.31449/inf.v49i15.6745.
5. Lokanan ME, Ramzan S. Predicting financial distress in TSX-listed firms using machine learning algorithms // *Front Artif Intell* v.7. 2024. DOI: 10.3389/frai.2024.1466321.

РАЗРАБОТКА АНСАМБЛЕВОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ БУДУЩЕЙ АКАДЕМИЧЕСКОЙ УСПЕВАЕМОСТИ АБИТУРИЕНТА НА ОСНОВЕ ПСИХОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

И.Н. Занин¹, Е.А. Аникеев¹, Ю.О. Авилов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема раннего выявления студентов, подверженных риску академической неуспеваемости. Предлагается архитектура ансамблевого алгоритма оценки будущей успеваемости студентов. Особое внимание уделяется интерпретируемости модели позволяющей определять индивидуальные факторы риска и формировать рекомендации для адресной психолого-педагогической поддержки.

Ключевые слова: ансамблевые алгоритмы, прогнозирование успеваемости, психометрические данные, стеккинг, студенты группы риска, SHAP-анализ, адресная поддержка.

ANALYSIS OF ARCHITECTURAL MODELS FOR THE INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, THE INTERNET OF THINGS, AND BIG DATA TECHNOLOGIES IN MODERN INFORMATION SYSTEMS

I.N. Zanin¹, E.A. Anikeev¹, Yu.O. Avilov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article addresses the problem of early identification of students at risk of academic underperformance. An architecture for an ensemble algorithm for assessing future student performance is proposed. Special attention is paid to the interpretability of the model, which allows for the identification of individual risk factors and the formation of recommendations for targeted psychological and pedagogical support.

Keywords: ensemble algorithms, academic performance prediction, psychometric data, stacking, at-risk students, SHAP analysis, targeted support.

Введение

Проблема раннего выявления студентов, которые в будущем будут иметь низкую академическую успеваемость представляет собой одну из наиболее значимых проблем для системы высшего образования.

Традиционные подходы к отбору абитуриентов демонстрируют ограниченную прогностическую способность в отношении того, какие студенты столкнутся с трудностями в процессе обучения. Это обусловлено тем, что академический успех детерминирован не только когнитивными способностями, но и широким спектром личностных характеристик. [1]

В современной психологической литературе накоплен значительный массив данных о влиянии личностных черт на успеваемость, именно эти характеристики в значительной степени определяют, насколько успешно студент сможет адаптироваться к требованиям образовательной среды и справиться с возрастающей учебной нагрузкой. [2]

Основная проблема заключается в отсутствии инструментов, позволяющих на этапе зачисления выявить абитуриентов, которые могут столкнуться с трудностями в процессе обучения и нуждаются в поддержке. Существующие подходы к прогнозированию успеваемости ориентированы на отбор «лучших», а не на идентификацию «групп риска» и определение направлений поддерживающих вмешательств.

Большинство исследований фокусируется на отдельных психологических конструктах, не рассматривая их в комплексе. Традиционные статистические методы, обладают ограниченными возможностями для моделирования сложных нелинейных зависимостей. Прогностические модели, как правило, не предусматривают механизмов интерпретации результатов. Отсутствует унифицированный психометрический инструментарий, адаптированный для использования в практике психологических служб ВУЗов. [2]

Таким образом, существует противоречие между потенциальной ценностью психологических данных и отсутствием методологии их системного использования. Разрешение этого противоречия требует разработки интегративного подхода, объединяющего психометрическое тестирование и ансамблевые алгоритмы машинного обучения.

Целью настоящей работы является разработка алгоритма машинного обучения для оценки будущей академической успеваемости абитуриента, что бы ВУЗ смог определить направлений их психолого-педагогической поддержки для повышения числа будущих квалифицированных специалистов.

Теоретический обзор проблемы

Теоретической основой выступает дифференциально-регуляторный подход, согласно которому успешность обучения детерминирована взаимодействием трех уровней психологических ресурсов, а именно базовые личностные диспозиции, регуляторно-личностные свойства и динамические мотивационно-смысловые образования.

Трудности в обучении характеризуются нелинейными связями и эффектами взаимодействия между предикторами. Традиционные линейные модели не способны отражать такие явления, как:

- Нелинейная зависимость успеваемости от уровня тревожности. Оптимальный уровень тревожности способствует мобилизации, тогда как чрезмерно высокий дезорганизует деятельность, а чрезмерно низкий приводит к отсутствию мотивации. [1]
- Модерационные эффекты, при которых влияние одного фактора на успеваемость зависит от уровня другого фактора, так при высоком уровне саморегуляции прокрастинация может компенсироваться. [1]
- Компенсаторные отношения, когда высокий уровень развития одних психологических ресурсов может компенсировать недостаточность других. [1]

Ансамблевые методы автоматически извлекают из данных сложные взаимосвязи, что имеет критическое значение для точной идентификации студентов, которые могут столкнуться с учебными трудностями, но остаются невыявленными при использовании упрощённых моделей. Высокая точность прогнозирования позволяет свести к минимуму количество ложноотрицательных срабатываний [4].

Алгоритм направлен на решение практической задачи – повышения числа выпускаемых квалифицированных кадров. Это достигается за счёт своевременного обнаружения студентов, испытывающих или потенциально способных испытать трудности в процессе обучения, и последующей организации для них адресной поддержки.

Основные направления практического применения включают:

- Раннее выявление студентов группы риска.
- Определение направлений поддержки.
- Организацию адресных программ сопровождения.
- Мониторинг эффективности поддерживающих вмешательств.

Результатом внедрения алгоритма должно стать снижение отсева студентов.

Разработка алгоритма

Для диагностики параметров, дефицит которых может приводить к академическим трудностям, необходимо разработать опросник из 100 утверждений, оцениваемых по 5-балльной шкале Ликерта. Около 30 процентов вопросов должны являются обратными, что позволит минимизировать систематические искажения, связанные с тенденцией давать социально одобряемые ответы. При подсчете баллов ответы на обратные вопросы инвертируются:

$$x_{\text{инв}} = 4 - x_{\text{прям}}$$

Надежность диагностики оценивается коэффициентом α -Кронбаха, вычисляемым для каждой шкалы:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_{y_i}^2}{\sigma_X^2} \right)$$

где k – количество вопросов в шкале, $\sigma_{y_i}^2$ – дисперсия ответов на i -й вопрос, σ_X^2 – дисперсия суммарных баллов по шкале.

Приемлемым уровнем надежности для диагностических целей считается значение $\alpha \geq 0,70$. Конструктивная валидность проверяется конфирматорным факторным анализом с использованием стандартных индексов соответствия: $\text{RMSEA} \leq 0,06$, $\text{CFI} \geq 0,90$, $\text{SRMR} \leq 0,08$.

Для корректной работы алгоритмов машинного обучения необходима стандартизация данных. Оценки аттестата, выраженные в различных шкалах, приводятся к единому формату с помощью Z-преобразования:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$$

где x_{ij} – оценка i -го абитуриента по j -му предмету, μ_j – среднее значение по предмету, σ_j – стандартное отклонение.

Психологические параметры, получаемые как средние баллы по шкалам, нормируются в диапазон от 0 до 1 делением на максимально возможный балл:

$$p_{ik} = \frac{\bar{x}_{ik}}{4}$$

Для выделения наиболее информативных факторов риска применяется сочетание дисперсионного анализа и метода взаимной информации:

$$F = \frac{\sum_{j=1}^g n_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2 / (g - 1)}{\sum_{j=1}^g \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / (N - g)}$$

Взаимная информация оценивает нелинейные зависимости:

$$I(X; Y) = \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} p(x, y) \log \frac{p(x, y)}{p(x)p(y)}$$

Признаки ранжируются по обоим критериям, отбираются входящие в топ-К по сумме рангов. Такой подход позволяет сохранить как линейно связанные с успеваемостью факторы риска, так и те, влияние которых проявляется через сложные нелинейные зависимости.

Стеккинг представляет собой двухуровневую архитектуру, где предсказания базовых моделей первого уровня используются в качестве признаков для обучения мета-модели второго уровня. [5]

Модель А: Градиентный бустинг (XGBoost) – последовательная коррекция ошибок предыдущих деревьев, эффективна для выявления сложных нелинейных зависимостей:

$$\mathcal{L}^{(t)} = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)) + \sum_{k=1}^t \Omega(f_k)$$

Модель В: Случайный лес (Random Forest) – усреднение предсказаний деревьев, обученных на случайных подвыборках, обеспечивает устойчивость к выбросам и возможность оценивать важность факторов риска:

$$\hat{y} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(x)$$

Модель С: Машина опорных векторов с RBF-ядром (SVM) – моделирует сложные границы между студентами с высоким и низким риском трудностей:

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2)$$

На втором уровне обучается мета-модель, которая принимает предсказания базовых моделей и формирует итоговый прогноз вероятности. Для задачи бинарной классификации используется логистическая регрессия:

$$P(y = 1 | \hat{y}_{\text{XGB}}, \hat{y}_{\text{RF}}, \hat{y}_{\text{SVM}}) = \frac{1}{1 + \exp(-(w_0 + w_1 \hat{y}_{\text{XGB}} + w_2 \hat{y}_{\text{RF}} + w_3 \hat{y}_{\text{SVM}}))}$$

Для настройки гиперпараметров используется библиотека Optuna с алгоритмом TPE. Оптимизация организована как минимизация целевой функции, в качестве которой выступает частота ложноотрицательных ошибок (FN) при пятикратной кросс-валидации. Количество итераций оптимизации – 100. [6]

Для оценки эффективности выявления студентов группы риска используются метрики, ориентированные на чувствительность модели:

- **Полнота (Recall)** – доля выявленных студентов из числа тех, кто действительно столкнулся с трудностями:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

- **Точность (Precision)** – доля, верно, выявленных среди всех, кого модель отнесла к группе риска:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

- **F1-мера** – гармоническое среднее точности и полноты:

$$F1 = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

- **Площадь под ROC-кривой (ROC-AUC)** – обобщенная характеристика способности модели различать группы

Приоритетной метрикой является полнота, поскольку пропуск студента, нуждающегося в поддержке, имеет более серьезные последствия, чем направление на поддержку студента, который потенциально мог бы справиться самостоятельно. [5]

Для понимания того, какие именно психологические характеристики обуславливают риск академических трудностей конкретного студента, используется метод SHAP, основанный на значениях Шепли из теории кооперативных игр: [5]

$$\phi_i = \sum_{S \subseteq F \setminus \{i\}} \frac{|S|! (|F| - |S| - 1)!}{|F|!} [f_{S \cup \{i\}}(x_{S \cup \{i\}}) - f_S(x_S)]$$

Глобальная интерпретация выявляет ключевые факторы риска по выборке в целом. Локальная интерпретация объясняет индивидуальный прогноз.

На основе SHAP-анализа для каждого студента группы риска формируются рекомендации по адресной поддержке.

Реализация предложенного подхода позволит:

- Снизить долю студентов, отчисленных по причине неспособности справиться с образовательными программами;

- Обеспечить своевременную поддержку студентов, которые без нее могли бы столкнуться с серьезными трудностями;
- Повысить эффективность работы психологических служб вузов за счет адресности вмешательств;
- Увеличить число выпускников, успешно завершивших обучение и ставших квалифицированными специалистами;
- Сохранить кадровый потенциал страны за счет предотвращения отсева студентов, способных к успешному обучению при наличии адекватной поддержки.

Заключение

Разработанный ансамблевый алгоритм, основанный на архитектуре стеккинга, представляет собой эффективный инструмент для раннего выявления абитуриентов, потенциально подверженных риску академических трудностей. В отличие от традиционных методов отбора, предложенный подход учитывает сложную, нелинейную природу взаимосвязей между психометрическими характеристиками и успеваемостью. Использование таких моделей, как градиентный бустинг, случайный лес и SVM, в сочетании с мета-моделью, позволяет минимизировать критически важные ложнопущенные случаи, обеспечивая высокую чувствительность диагностики.

Практическая ценность разработки заключается в ее способности не только идентифицировать студентов группы риска, но и интерпретировать полученные прогнозы. Применение SHAP-анализа дает возможность определить индивидуальный профиль дефицитарных психологических ресурсов для каждого студента. Это знание позволяет психологическим службам вузов перейти от массовой профилактики к адресным, научно обоснованным программам поддержки, воздействующим на конкретные причины потенциальной неуспеваемости.

Таким образом, дальнейшее внедрение и совершенствование предложенного алгоритма формирует основу для сокращения отчислений среди студентов и повышения результативности образовательной системы в целом. Своевременная и целенаправленная поддержка обучающихся, способных успешно осваивать образовательные программы при условии надлежащего сопровождения, позволит сохранить кадровый потенциал и нарастить выпуск квалифицированных специалистов, что соответствует стратегическим приоритетам высшего образования.

Список литературы

1. Белов А.И., Паллотта В.И. Проблема недостаточного успеха в обучении как объект научно-педагогических исследований // Вестник ГГУ. - 2025. - №2. - С. 325-341.
2. Брызгалова Е.А., Калянова Л.М. Образование академических задолженностей как следствие неуспеваемости обучающихся вузов // Перспективы развития высшей школы. Материалы VI Международной научно-практической конференции-2025.. - Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2025. - С. 229-238.
3. Сумин В.И., Дубровин А.С., Кущева И.С. Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур // Моделирование систем и процессов. - 2024. - №4 т. 17. - с. 77-83.
4. Сумин В.И., Дубровин А.С., Кравченко А.С. Разработка подхода формирования структуры принятия управленческих решений сотрудниками сложных организационных систем специального назначения // Моделирование систем и процессов. - 2025. - №3 т. 18. - с. 99-106.
5. Сумин В.И., Красова Н.Е., Корыпаева Ю.В., Кузнецова Л.Д. Модель отбора кандидатов на должность младших командиров подразделения курсантов ВУЗа МО РФ, основанная на модели Раша оценки латентных переменных // Моделирование систем и процессов. - 2025. - №3 т. 18. - с. 107-114.
6. Сумин В.И., Кравченко А.С., Толкачев А.В. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем // Моделирование систем и процессов. - 2024. - №3 т. 17. - с. 71-79.

References

1. Belov A.I., Pallotta V.I. The problem of insufficient academic success as an object of scientific and pedagogical research // Bulletin of GSU. - 2025. - No. 2. - pp. 325-341.
2. Bryzgalova E.A., Kalyamova L.M. Academic arrears as a consequence of student underperformance in higher education institutions // Prospects for the Development of Higher Education. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference-2025. - Tyumen: Tyumen Industrial University, 2025. - pp. 229-238.
3. Sumin V.I., Dubrovin A.S., Kushcheva I.S. Features of selecting expert group members for analyzing the functioning of complex organizational systems in law

enforcement agencies // Modeling of Systems and Processes. - 2024. - No. 4, Vol. 17. - pp. 77-83.

4. Sumin V.I., Dubrovin A.S., Kravchenko A.S. Development of an approach to forming the structure of managerial decision-making by personnel in complex special-purpose organizational systems // Modeling of Systems and Processes. - 2025. - No. 3, Vol. 18. - pp. 99-106.

5. Sumin V.I., Krasova N.E., Korypaeva Yu.V., Kuznetsova L.D. A model for selecting candidates for the position of junior commanders in a cadet unit of a military higher education institution based on the Rasch model for latent variable assessment // Modeling of Systems and Processes. - 2025. - No. 3, Vol. 18. - pp. 107-114.

6. Sumin V.I., Kravchenko A.S., Tolkachev A.V. The use of situational modeling in developing decision-making systems for complex organizational systems // Modeling of Systems and Processes. - 2024. - No. 3, Vol. 17. - pp. 71-79.

MAC-АДРЕС КАК АППАРАТНЫЙ ИДЕНТИФИКАТОР

Д.А. Ивенский¹, Е.О. Семенко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой обзор на MAC-адрес, как аппаратный идентификатор, его уникальность и структура, а также применение в сетевой безопасности. Автор рассматривает фундаментальные основы, понятие аппаратного (физического) адреса в сетевых технологиях, детальную структуру и обеспечение глобальной уникальности. Уникальность работы заключается в рассмотрении уникальности MAC-адреса, а также факторы, которые нарушают ее, в разборе структуры и его роль.

Ключевые слова: MAC-адрес, структура, сетевая безопасность, глобальная уникальность.

MAC-ADDRESS AS A HARDWARE IDENTIFIER

D.A. Ivenskii¹, E.O. Semenko¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article provides an overview of the MAC-address as a hardware identifier, its uniqueness and structure, as well as its application in network security. The author examines the fundamental principles, the concept of hardware (physical) address in network technologies, its detailed structure, and the provision of global uniqueness. The uniqueness of the work lies in the analysis of the uniqueness of the MAC-address, as well as the factors that violate it, and the examination of its structure and role.

Keywords: MAC address, structure, network security, global uniqueness.

Введение

MAC-адрес является базовым идентификатором на втором уровне модели OSI, остается главным элементом функционирования любых сетей, начиная от Wi-Fi и до магистральных каналов передачи данных.

Аппаратным адресом является уникальный номер, который присваивает производитель каждому сетевому устройству. Он представляет из себя «имя» устройства на самом низком уровне сети и позволяет определить его среди множества других в локальной сети.

MAC-адрес отвечает за:

1. Локальную адресацию. Определяет точное соседнее устройство в физической сети.
2. Управление доступом. Он регулирует порядок, где устройства передают данные в общую среду, используя протоколы CSMA/CD и CSMA/CA.
3. Упаковку данных. Преобразовывает сетевые пакеты в кадры.

Фундаментальные основы и структура

MAC-адрес – это не случайный набор байтов, а структурированный идентификатор в котором каждый бит несет определенную информацию. Данный 48-битный адрес состоит из 12 шестнадцатеричных символов, для удобства которые разделяются.

Каждый 8-битный сегмент именуется октетом. Существует три самых распространенных формата записи:

1. Производительский (например, Cisco): 001A.2B3C.4D5E. Часть производителей используют точки для разделения каждых двух октетов.
2. Unix/Cisco: 00:1A:2B:3C:4D:5E. В данном случае для разделения используется двоеточие. Порядок октетов остается тем же.
3. Канонический (IEEE): 00-1A-2B-3C-4D-5E. В данном формате, часто используемом в Ethernet и документации IEEE, применяются дефисы. Октеды представляются в определенном порядке – от старшего к младшему, соответствуя порядку в заголовках кадров.

Если два устройства в одном домене будут иметь одинаковый MAC-адрес, то возникнет конфликт, который приведет к потере пакетов и невозможности установить связь. Для того, чтобы это предотвратить, была создана централизованная иерархическая система управления адресным пространством.

Принцип обеспечения глобальной уникальности и факторы, нарушающие ее

Глобальная уникальность обеспечивается двухуровневой системой:

1. IEEE – гарантирует уникальность префикса (OUI) среди всех производителей мира.

2. Производитель – гарантирует уникальность суффикса (NIC-specific part) среди устройств, которые выпущены под его OUI.

Функции IEEE RA:

- IEEE RA владеет всем 48- и 64-битным адресным пространством, а также выделяет из него блоки производителям.

- Все выделенные OUI заносятся в открытую базу данных, доступную для всех. Это позволяет идентифицировать производителя устройства по первым байтам его MAC-адреса.

- Определяет правила и стоимость получения OUI, предотвращая истощение адресного пространства.

Гарантия глобальной уникальности MAC-адреса является условной. Существуют факторы, которые нарушают этот принцип.

Сбой в системе нумерации. Если произойдет ошибка в ПО или БД, то это может привести к тому, что один и тот же серийный номер присвоится двум разным устройствам.

Ошибки и коллизии в производстве случаются довольно редко благодаря автоматизации, но теоретически они возможны и происходили когда-то в прошлом.

Контрафактная продукция. Это происходит, когда недобросовестные производители поддельного оборудования игнорируют систему OUI и используют случайные MAC-адреса, что приводит к конфликтам в глобальном масштабе, если такие устройства окажутся в одной сети.

В следствии чего вызывается конфликт MAC-адресов в одной сети который приводит к тому, что коммутатор не может корректно построить свою MAC-таблицу, постоянно перезаписывая порт для одного адреса. Трафик для этого адреса будет хаотично перенаправляться между двумя устройствами, вызывая потерю соединения для обоих.

Перехват трафика

Рассмотрим, как через MAC-адрес, злоумышленник может проникать в сеть и доставать нужную ему информацию.

Выше приведен пример, как злоумышленники могут перенаправлять весь трафик между роутером и вашим устройством через свой ноутбук. Для этого, ему достаточно просто отправить ложные APR-ответы роутеру с клиентом, он будет содержать информацию, что IP-адрес соответствует MAC-адресу злоумышлен-

ника, а ложный ARP-ответ, который отправится роутеру, будет содержать информацию о том, что IP-адрес клиента также соответствует MAC-адресу злоумышленника.

Таким образом, весь трафик пользователя будет направляться через ноутбук злоумышленника, включая пароли и прочую критичную информацию.

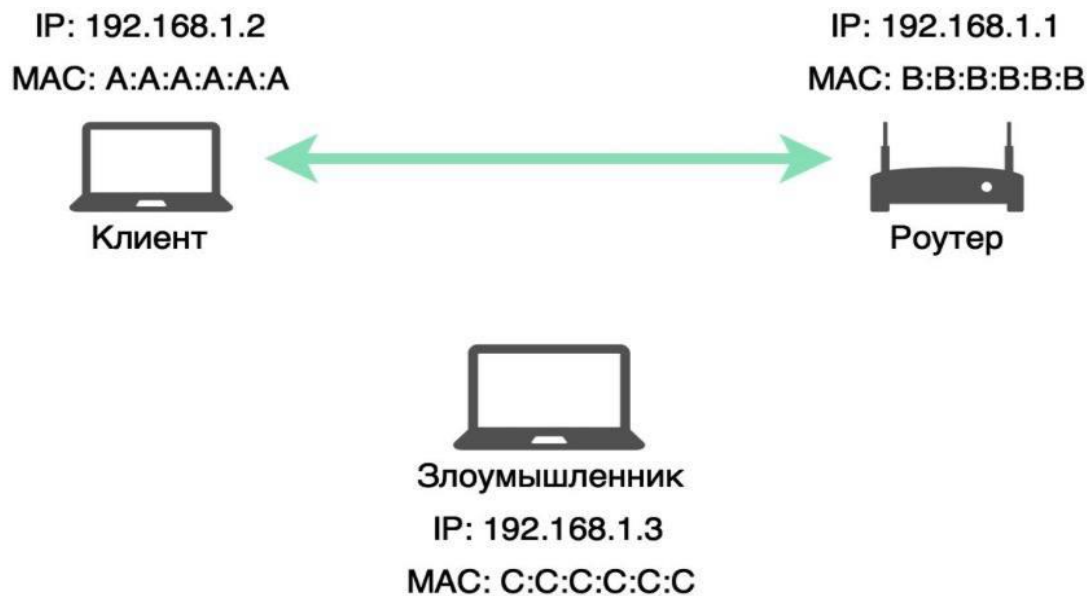


Рисунок 1 – Нормальное взаимодействие роутера с клиентом

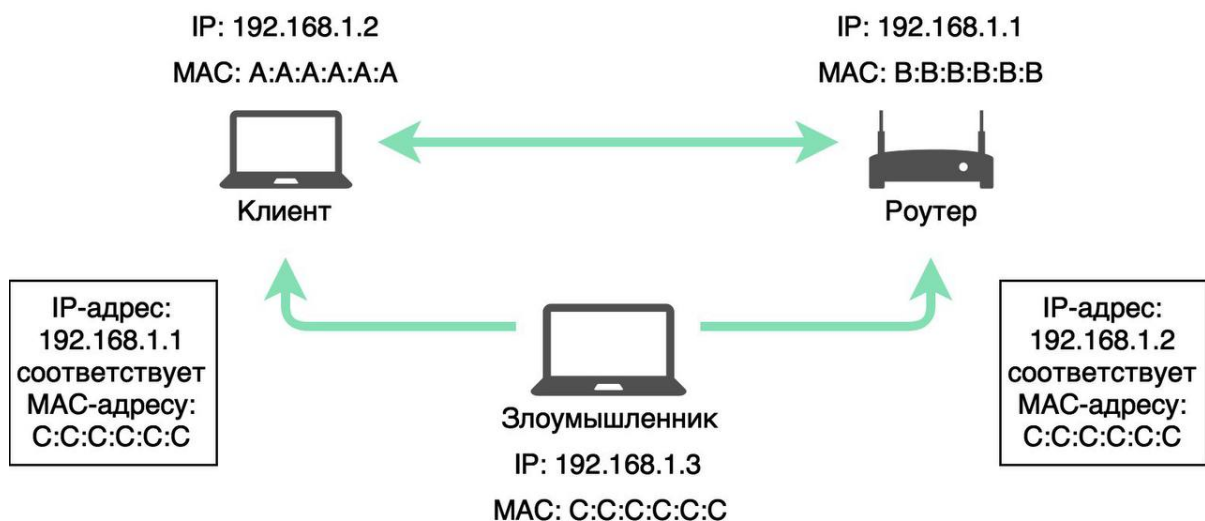


Рисунок 2 – Злоумышленник смог отправить ложные ARP-ответы

Заключение

MAC-адрес остается фундаментом канального уровня, но его сущность усложнилась. С самого начала он был создан как простой и статичный аппаратный идентификатор, сегодня представляет из себя структурирован-

ную сущность, которая управляется глобальным регулятором (IEEE). Его серийный номер, служебные биты и строгая структура обеспечила нам масштабируемость сетей, однако, стала основой для легитимного отказа от глобальной уникальности через механизмы локальной адресации.

Применение MAC-адреса в сетевой безопасности демонстрирует парадигматический сдвиг: от базового инструмента контроля к фактору риска и объекту защиты.

Его будущее лежит не в изоляции, а в грамотной интеграции в комплексные архитектуры безопасности, там его способность к локальной идентификации можно дополнить криптографическими методами и строгими протоколами аутентификации.

Список литературы

1. Всё, что вы хотели знать о MAC адресе. URL: <https://habr.com/ru/articles/483670/> (дата обращения: 07.05.2026).
2. IP vs MAC - в чем разница? URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/ip-vs-mac-v-sem-raznica> (дата обращения: 07.05.2026).
3. MAC address. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MAC_address (дата обращения: 07.05.2026).
4. MAC-адрес. URL: <https://руни.рф/MAC-адрес> (дата обращения: 07.05.2026).
5. MAC-адрес. URL: <https://znanierussia.ru/articles/MAC-адрес> (дата обращения: 07.05.2026).
6. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Карпенко С.Р. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137-140.
7. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Солодилов М.В. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71-83.
8. Заленская Н.Ю., Макаренко Ф.В., Заревич А.И., Полуэктов А.В. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

9. Заревич А.И., Муравьев С.В. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140-143.

10. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В. [и др.]. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180-184.

11. Зольников В.К., Сазонова С.А., Заревич А.И., Башун С.С. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27-40.

12. Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Заревич А.И. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10-17.

13. Полуэктов А.В., Зольников К.В., Анциферова В.И. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

14. Заревич А.И., Муравьев С.В. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129-133.

15. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388-390.

References

1. Everything you wanted to know about the MAC address. URL: <https://habr.com/ru/articles/483670/> / (date of access: 05/07/2026).

2. IP vs. MAC - what is the difference? URL: <https://wiki.merionet.ru/articles/ip-vs-mac-v-cem-raznica> (date of access: 05/07/2026).

3. MAC address. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/MAC_address (date of access: 05/07/2026).

4. MAC address. URL: <https://пуни.Russian Federation/MAC address> (date of access: 05/07/2026).

5. MAC address. URL: <https://znanierussia.ru/articles/MAC-agpec> (date of publication: 05/07/2026).

6. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V., Karpenko S.R. An impulse method for determining the frequency characteristics of high-current shunts // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2012. Vol. 321, No. 4. pp. 137-140.

7. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V., Solodilov M.V. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical shield // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, no. 4. Pp. 71-83.

8. Zalenskaya N.Y., Makarenko F.V., Zarevich A.I., Poluektov A.V. Analysis of the amount of consumption of SF₆ and cf₄ for refueling high-voltage switching equipment // Izvestia of Higher Educational institutions. – 2024. – Vol. 26, No. 4. – pp. 3-16. - DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – ED. HOOMCR.

9. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider // News of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.

10. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V. [and others]. Hardware and software complex for automated testing of high-current converters // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2013. Vol. 322, No. 4. pp. 180-184.

11. Zolnikov V.K., Sazonova S.A., Zarevich A.I., Bashun S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. - 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 27-40.

12. Sazonova S.A., Asminin V.F., Zarevich A.I. Development of the bank's information subsystem for issuing loans // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17.

13. Poluektov A.V., Zolnikov K.V., V. Antsiferova.I. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package // Modeling of systems and processes. – 2021. – VOL. 14, No. 4. – PP. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – APPROX. THE AUTHOR.

14. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2010. Vol. 317, No. 4. pp. 129-133.

15. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed microwave radiation output // Letters on technical physics. - 2005. – Volume 31, No. 5. – pp. 388-390.

ИНТЕРФЕЙС RS-232

Д.А. Ивенский¹, Е.О. Семенко¹, А.Ю. Бутов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой обзор на интерфейс RS-232, как одного из самых распространенных стандартов передачи данных, его технические характеристики, структуры сигналов и область применения. Автор рассматривает основы последовательного обмена информацией, понятия асинхронной передачи данных, использование особенностей для обеспечения корректной связи между устройствами.

Ключевые слова: RS-232, последовательная передача данных, интерфейс связи, промышленная автоматизация, асинхронный обмен.

RS-232 INTERFACE

D.A. Ivenskii¹, E.O. Semenko¹, A.Yu. Butov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article provides an overview of the RS-232 interface, one of the most widely used data transmission standards, its technical specifications, signal structures, and applications. The author discusses the fundamentals of serial data exchange, the concepts of asynchronous data transmission, and the use of features to ensure proper communication between devices.

Keywords: RS-232, serial data transmission, communication interface, industrial automation, asynchronous exchange.

Введение

В системах автоматизации, развития вычислительных технологий и телекоммуникационного оборудования важную роль играют интерфейсы передачи данных. Самый распространенным интерфейсом передачи данных является RS-232, который используется долгое время для связи между компьютерами и периферийными устройствами.

Несмотря на то, что в современных устройствах интерфейс RS-232 заменили USB, Ethernet и беспроводные технологии, он все равно остается популярным в промышленности, измерительных приборах и системах управления, благодаря своей надежности и простоте использования.

История развития стандарта RS-232

Стандарт RS-232 берет свое начало в 1960-х годах. Разработкой занималась организация EIA (Electronic Industries Association). Изначально данный стандарт использовался для подключения модемов к вычислительным машинам.

Со временем стандарт несколько раз получал обновления и дополнялся, что привело к появлению различных модификаций.

Таблица 1 – Версии стандартов RS-232

Версия стандарта	Год появления	Особенности и изменения
RS-232A	1963	Первая готовая версия, имеющая точные требования к сигналам и электрические параметры.
RS-232B	1965	Улучшение описания соединений и совместимости устройств. Расширение технических характеристик.
RS-232C	1969	Самая распространенная версия. Основа для массового применения в компьютерах и периферии.
RS-232D	1986	Улучшение требований к сигналам и разъемам, увеличение совместимости с оборудованием.

Пик распространения интерфейса для передачи данных RS-232 пришелся на 1980-1990-е годы, когда персональные компьютеры стали получать COM-порты для подключения внешних устройств.

Характеристика интерфейса RS-232

RS-232 является асинхронной последовательной передачей данных между двумя устройствами. Чаще всего стандарт используется для соединения оборудования типа:

- Компьютер – принтер
- Компьютер – модем
- Компьютер – промышленное устройство
- Компьютер – измерительный прибор

Данный интерфейс подразумевает соединение только двух устройств без организации сети.

Принцип работы RS-232

Стандарт RS-232 имеет последовательный принцип передачи данных. В сравнении с параллельной передачей, где используется одновременная передача битов по нескольким линиям, RS-232 передает биты по одной линии поочередно, что позволяет:

- Уменьшить количество проводов
- Увеличить помехоустойчивость
- Передавать данные на большие расстояния

Передача данных является асинхронной, где устройство не использует общий тактовый сигнал, а синхронизируется при помощи стартовых и стоповых битов.



Рисунок 1 – Принцип последовательной передачи данных

Разъемы и линии интерфейса RS-232

Интерфейс RS-232 чаще всего используется с разъемами:

- DB9 – 9-контактный разъем, используемый для подключения промышленных контроллеров, приборов тестирования, приборов измерения, системы безопасности и телекоммуникационного оборудования.

- DB25 – 25-контактный разъем, используемый для подключения к компьютеру периферийных устройств (принтера, модема, мыши и др.), а также для связи компьютеров между собой.



Рисунок 2 – Разъемы DB9 и DB25

Линии интерфейса делятся RS-232 на сигнальные линии и линии управления.

Таблица 2 – Типы и назначения линий интерфейса RS-232

Название линии	Тип	Назначение
TXD	Сигнальная	Передача данных
RXD	Сигнальная	Прем данных
GND	Сигнальная	Общий провод
RTS	Управления	Запрос на передачу
CTS	Управления	Разрешение передачи
DRT	Управления	Готовность терминала
DSR	Управления	Готовность устройства
DCD	Управления	Обнаружение несущей
RI	Управления	Сигнал вызова

Область применения интерфейса RS-232

Несмотря на то, что технологии стремительно развиваются и интерфейс RS-232 уже является не самым актуальным, он все равно имеет широкое применение в областях промышленной автоматизации, системах управления, лабораторных измерительных приборах, медицинском оборудовании и д.р.



Рисунок 3 – Область применения интерфейса RS-232

Заключение

RS-232 является значимым стандартом для передачи данных, который сыграл большую роль в развитии вычислительной техники. Имея большую конкуренцию в виде современных технологий, RS-232 продолжает использоваться благодаря своей простоте и широкому распространению в узконаправленных системах.

Список литературы

1. RS-232. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/RS-232?ysclid=mlrp00nv1m231686656> (дата обращения: 07.05.2026).
2. Обзор стандарта RS-232. URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm?ysclid=mlrp76eklt284161955> (дата обращения: 07.05.2026).

3. Интерфейс rs-232: назначение, основные технические характеристики, принципы передачи данных. URL: <https://studfile.net/preview/3104801/page:18/> (дата обращения: 07.05.2026).
4. Распиновка RS-232. URL: <https://2shemi.ru/raspinovka-rs-232-rs-366-rs-422-rs-423-rs-449-rs-485-i-rs-530/> (дата обращения: 07.05.2026).
5. Новикова Т.П., Бодин А.А., Заревич А.И. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77-80.
6. Заревич А.И., Вегнер Е.В., Винтизенко И.И. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78-82.
7. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294-296.
8. Zarevich A., Poluektov A., Sumina Yu., Makarenko Ph. Structural mechanics in forestry based on digital twin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHN.
9. Логвиненко А.С., Смилянский Л.Ю., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В.К. Зольников, А.И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94-103.
10. Заревич А.И. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103-108.
11. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
12. Макаренко Ф.В., Зольников В.К., Заревич А.И. [и др.]. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZASOAI.
13. Шеховцов Д.В., Плотников А.М., Зольников К.В., Заревич А.И. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79-86.

14. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. [и др.]. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2025. – № 3. – С. 19-28.

References

1. RS-232. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/RS-232?ysclid=mlrp00nv1m231686656> (accessed: 05/07/2026).
2. Overview of the RS-232 standard. URL: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/start.htm?ysclid=mlrp76eklt284161955> (accessed: 05/07/2026).
3. RS-232 interface: purpose, main technical characteristics, principles of data transmission. URL: <https://studfile.net/preview/3104801/page:18> / (date of access: 05/07/2026).
4. RS-232 pinout. URL: <https://2shemi.ru/raspinovka-rs-232-rs-366-rs-422-rs-423-rs-449-rs-485-i-rs-530> / (date of access: 05/07/2026).
5. Novikova T.P., Bodin A.A., Zarevich A.I. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of a dental clinic // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2023. – No. 3. – pp. 77-80.
6. Zarevich A.I., Wegner E.V., Vintizenko I.I. An automated complex for diagnosing pulses of a relativistic microwave generator // Instruments and experimental techniques. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
7. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294-296.
8. Zarevich A., Poluektov A., Sumina Yu., Makarenko Ph. Structural mechanics in forestry based on digital twin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.
9. Logvinenko A.S., Smilyansky L.Yu., Zarevich A.I., Makarenko F.V. Genetic algorithms in modeling robot behavior // New aspects of modeling systems and processes : proceedings of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V.K. Zolnikov, A.I. Zarevich. Voronezh, 2023. pp. 94-103.
10. Zarevich A.I. Digital signal processing in automated tests of high-current shunts // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management. – 2013. – № 6 (186). – Pp. 103-108.

11. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
12. Makarenko F.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the sensitization process // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
13. Shekhovtsov D.V., Plotnikov A.M., Zolnikov K.V., Zarevich A.I. Technology of RTL-model product description development in the development of CAD software and analytical complex // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.
14. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V. [et al.]. Transformations of elements of design levels taking into account radiation exposure // Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment. - 2025. – No. 3. – pp. 19-28.

ПРОТОКОЛ IPV4 КАК ОСНОВА АДРЕСАЦИИ В ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ

Д.А. Ивенский¹, Е.О. Семенко¹, Я.В. Аксенова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой обзор на IPv4, как основа адресации в глобальной сети. Автор рассматривает его принцип работы, принцип работы IPv4, минусы и ограничения, а также роль в развитии интернета. Уникальность работы заключается в рассмотрении протокола IPv4, а также его недостаткам, которые связаны с адресным пространством.

Ключевые слова: IPv4, сеть, адресация, IP-адрес.

IPV4 PROTOCOL AS THE BASIS FOR ADDRESSING IN THE GLOBAL NETWORK

D.A. Ivenskii¹, E.O. Semenko¹, Ya.V. Aksenova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article provides an overview of IPv4 as the basis for addressing in the global network. The author examines its working principle, the disadvantages and limitations of IPv4, and its role in the development of the Internet. The uniqueness of the article lies in its focus on the IPv4 protocol and its limitations related to address space.

Keywords: IPv4, network, addressing, IP address.

Введение

Протокол IPv4 был разработан в начале 1980-х годов, на протяжении времени он удовлетворял потребности пользователей и провайдеров, а также являлся фундаментом в развитии интернета.

Так как у него была 32-битная система адресации, то это привело к тому, что доступное адресное пространство исчерпались, стало слишком много подключаемых устройств, что в последствии привело к невозможности масштабировать IPv4 без применения NAT.

Дефицит IP-адресов стал ключевым фактором, с помощью которого смогли разработать и внедрить новую версию протокола – IPv6, который использует 128-битную систему адресации. Несмотря на это, IPv4 до сих пор активно используется.

IPv4	IPv6
Размер адреса: 32-битное число	Размер адреса: 128-битное число
Формат адреса: 192.168.1.1	Формат адреса: fe80::94db:946e:6d4e:129e
Префикс: /24	Префикс: /64
Количество адресов: $2^{32} = 4\,294\,967\,296$	Количество адресов: $2^{128} = 340\,282\,366\,920\,938\,463\,463\,374\,607\,431\,768\,211\,456$

Рисунок 1 – Сравнение IPv4 и IPv6

Принцип работы адресации IPv4

Каждое устройство в наших сетях идентифицируется IP-адресом, который идентифицирует сеть и конкретное устройство. Данная структура реализуется с помощью двух логических составляющих адрес, а именно:

1. Сетевая часть. Она определяет конкретную логическую сеть, указывает на принадлежность к определенной сети и у каждое устройство имеет идентичную сетевую часть.
2. Хостовая часть. Она уникальна в пределах каждой подсети, что помогает предотвращать конфликты адресации, идентифицирует уникально конкретное устройство в пределах своей сети.

Граница между этими двумя частями определяется 32-битным числом, которое является битовой маской для IP-адреса.

IPv4 использует 32-битные адреса, что позволяет создать несколько миллиардов уникальных адресов, но число устройств со временем стало стремительно расти, что привело к дефициту адресов.

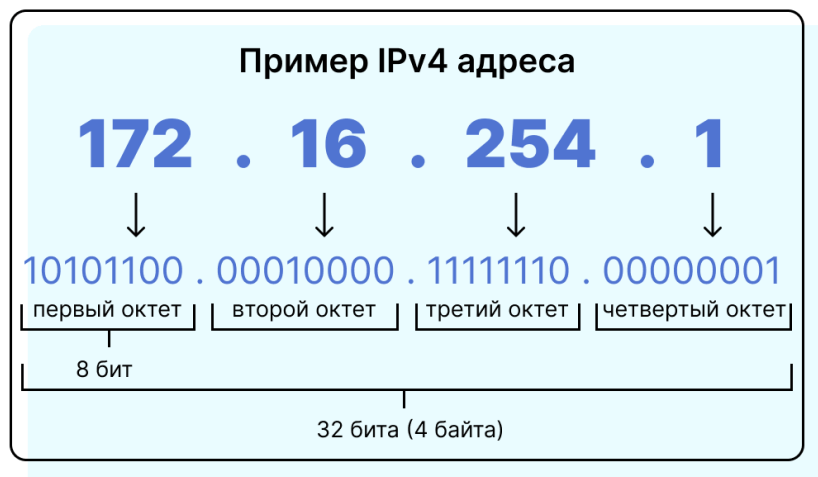


Рисунок 2 – Пример адреса по протоколу IPv4

Адресное пространство и классы

Изначально на раннем этапе развития Интернета использовали классовую адресацию. Существовали классы для: крупных сетей, средних, малых и специальных сетей.

Хоть изначально классовая система упростила первоначальное распределение адресов, но со временем люди пришли к выводу, что данное распределение является неэффективным и это все приводило к перерасходу адресов. Благодаря этому внедрили бесклассовую адресацию, с помощью которой смогли гибко использовать адресное пространство.

Роль IPv4 в развитии Интернета

IPv4 стал основой для появления Всемирной паутины, социальных сетей и так далее благодаря тому, что данный протокол смог обеспечить:

1. Простоту реализации.
2. Независимость от типа физической сети.
3. Стандартизацию адресации.
4. Высокую совместимость оборудования.

Минусы и ограничения IPv4

Несмотря на свою историческую значимость, IPv4 все равно имеет достаточно много и существенных недостатков, и проблем.

Одной из самых главных проблем является малое адресное пространство, адресов оказалось слишком недостаточно для всех устройств.

Имелись проблемы с безопасностью из-за того, что изначально разработка была без учета современных требований к защите данных. В IPv4 отсутствует шифрование и аутентификация.

Так же была снижена производительность сети и была большая вероятность потери данных из-за того, что IPv4 допускает фрагментацию пакетов.

Заключение

Протокол IPv4 продолжает активно использоваться несмотря на то, что у него ограниченное адресное пространство, а также слабая безопасность, но это не отрицает того, что он является фундаментальным элементом архитектуры интернета.

В свое время он смог доказать свою надежность и эффективность, и поддерживал это на протяжении нескольких десятков лет.

Хоть и существует уже IPv6, которые устраняет недостатки, IPv4, вероятно, будет еще очень долго существовать. Он имеет огромное значение в истории развития сетевых технологий, именно он заложил фундамент для дальнейших информационных сетей.

Будущее интернета будет построено на IPv6, но всегда будет нести в себе своего предшественника, а именно – простоту и универсальность, которые были заложены в IPv4.

Список литературы

1. Что такое IPv4 и как он работает? URL: <https://skyeng.ru/it-industry/it/chto-takoye-ipv4-obzor-i-osnovnyye-kharakteristiki> (дата обращения: 07.05.2026).

2. IPv4: полный гид по подсетям и маскам – от основ до расчета. URL: <https://cloud.ru/blog/ipv4> (дата обращения: 07.05.2026).

3. IPv4 и IPv6 - в чем разница? URL: <https://inrack.ru/secrets/ipv4-i-ipv6-v-chem-raznitsa/> (дата обращения: 07.05.2026).

4. IPv4 и IPv6: ключевые различия и особенности интернет-протоколов. URL: <https://sky.pro/wiki/sql/ipv4-i-ipv6-chto-eto-i-v-chem-raznica/> (дата обращения: 07.05.2026).

5. Заревич А.И., Муравьев С.В. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129-133.

6. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388-390.

7. Заревич А.И., Вегнер Е.В., Винтизенко И.И. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78-82.

8. Новикова Т.П., Бодин А.А., Заревич А.И. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77-80.

9. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294-296.

10. Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Полуэктов А.В. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лес. форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛТУ. – Воронеж, 2025. – С. 773-785.

11. Шеховцов Д.В., Плотников А.М., Зольников К.В., Заревич А.И. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79-86.

12. Полуэктов А.В. Формирование ИКТ-компетентности студентов специальности «Информатика» // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2009. – № 3 (3). – С. 8-11. – EDN SAXGJX.

13. Poluektov A., Skvortsova T., Anikeev E., Yagodkin A. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.

14. Сазонова С.А., Асминин В.Ф., Заревич А.И. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10-17..

15. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления / Ф. В. Макаренко, В. К. Зольников, А. И. Заревич [и др.] // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318–330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

16. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева, С. Р. Карпенко // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137–140.

References

1. What is IPv4 and how does it work? URL: <https://skyeng.ru/it-industry/it/chto-takoye-ipv4-obzor-i-osnovnyye-kharakteristiki> (date of conversion: 05/07/2026).
2. IPv4: a complete guide to subnets and masks – from basics to calculation. URL: <https://cloud.ru/blog/ipv4> (accessed: 05/07/2026).
3. IPv4 and IPv6 - what is the difference? URL: <https://inrack.ru/secrets/ipv4-i-ipv6-v-chem-raznitsa/> (accessed: 05/07/2026).
4. IPv4 and IPv6: key differences and features of Internet protocols. URL: <https://sky.pro/wiki/sql/ipv4-i-ipv6-chto-eto-i-v-chem-raznica/> (date of notification: 05/07/2026).
5. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
6. Vintizenko I.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 388-390.
7. Zarevich A.I., Wegner E.V., Vintizenko I.I. An automated complex for diagnosing pulses of a relativistic microwave generator // Instruments and experimental techniques. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
8. Novikova T.P., Bodin A.A., Zarevich A.I. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of a dental clinic // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2023. – No. 3. – pp. 77-80.
9. Vintizenko I.I., Guselnikov V.I., Zarevich A.I., Novikov S.S. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, no. 4. – P. 294-296.
10. Zarevich A.I., Makarenko F.V., Poluektov A.V. Synthesis of big data and correction of class imbalance to improve the model of classification of forest fires // Forestry in the context of global challenges: new paradigms of sustainable development. Forestry – 2025 : materials from the Inter-Danube forest. forum, timed. to celebrate the 95th anniversary of VGLTU. Voronezh, 2025. pp. 773-785.

11. Shekhovtsov D.V., Plotnikov A.M., Zolnikov K.V., Zarevich A.I. Technology of RTL-model product description development in the development of CAD software and analytical complex // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.
12. Poluektov A.V. Formation of ICT competence of students of the specialty "Informatics" // Information and communication technologies in pedagogical education. – 2009. – № 3 (3). – Pp. 8-11. – EDN SAXGJX.
13. Poluektov A., Skvortsova T., Anikeev E., Yagodkin A. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.
14. Sazonova S.A., Asminin V.F., Zarevich A.I. Development of the bank's information subsystem for issuing loans // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17..
15. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the process of sensitization / F. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
16. Pulse method for determining the frequency characteristics of highly precise shunts / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva, S. R. Karpenko // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 137-140.

ПРОТОКОЛ IPV6 КАК ОСНОВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Д.А. Ивенский¹, Е.О. Семенко¹, Я.В. Аксенова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой обзор на IPv6, как основа функционирования современных компьютерных сетей. Автор рассматривает его принцип работы, технологические характеристики, ключевые отличия IPv6 от IPv4, а также проблемы его внедрения. Уникальность работы заключается в рассмотрении IPv6, а также его перспективы.

Ключевые слова: IPv6, IPv4, адресация, безопасность сетей.

IPV6 PROTOCOL AS THE FOUNDATION OF MODERN COMPUTER NETWORKS

D.A. Ivenskii¹, E.O. Semenko¹, Ya.V. Aksenova¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article provides an overview of IPv6 as the foundation of modern computer networks. The author examines its working principle, technological characteristics, key differences between IPv6 and IPv4, and the challenges associated with its implementation. The uniqueness of this work lies in its comprehensive analysis of IPv6 and its future prospects.

Keywords: IPv6, IPv4, addressing, network security.

Введение

IPv6 является следующей версией протокола интернета после IPv4 и представляет собой фундаментальную эволюцию сетевых технологий.

Он был создан для решения проблем, которые возникли у прошлой версии – IPv4. Включает в себя ряд архитектурных изменений, которые затрагивают безопасность, управление сетью и адресацию.

Ключевое отличие IPv6 от IPv4 заключается в увеличении длины адреса, то есть вместо 32 бит используются 128, что создает огромное количество уникальных адресов. Тем самым он создает практически неисчерпаемый ресурс для устройств и будущих технологий.

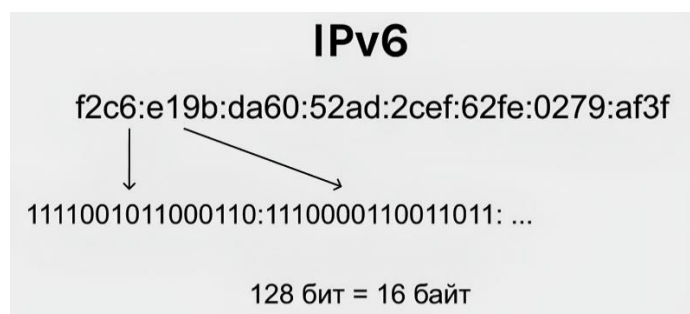


Рисунок 1 – Пример адреса по протоколу IPv6

Проблемы внедрения IPv6

Хоть IPv6 на данный момент и рассматривается как ведущий и важный стандарт развития глобальной сети Интернет, его внедрение имеет существенные технические и экономические трудности. В свою очередь они замедляют темпы перехода и требуют комплексный подход.

Одна из самых главных проблем – это наличие устаревшего оборудования. Большое количество коммутаторов и других сетевых устройств, либо полностью не поддерживают IPv6, либо имеют ограниченную реализацию протокола. В таких случаях применяют модель двойного стекла, когда IPv6 и IPv4 поддерживаются одновременно, что очень сильно усложняет конфигурацию сетей и повышает вероятность ошибок, и к большим затратам.

Еще одной значимой проблемой является дефицит квалифицированных специалистов, обладающих глубокими знаниями и практическими навыками работы с механизмами IPv6, в частности Neighbor Discovery Protocol (NDP) и Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC).

Некорректная настройка Router Advertisement сообщений может привести нас к тому, что будут нарушены работы сети и распределение адресов станет неконтролируемым.

Эффективное функционирование IPv6 требует от нас согласованных действий участников телекоммуникационного рынка.

Ключевые отличия IPv6 от IPv4

IPv6 имеет ряд преимуществ над IPv4, самые главные из них:

1. Механизм безопасности. IPv6 имеет встроенные системы безопасности: IPsec использующий, АН – аутентификацию и целостность и ESP – шифрование, в то время как для обеспечения безопасности IPv4 используются дополнительные сервисы.

2. Легкость расширяемости. Расширяемость у IPv6 происходит через Extension Headers, то есть все опциональные заголовки идут после основного.

3. Механизм маршрутизации. У IPv6 имеется четкая иерархия адресов, что значительно упрощает агрегацию маршрутов и уменьшает размер глобальных таблиц.

4. Механизм автоконфигурации. SLAAC (Stateless Address Autoconfiguration) – автоматическое формирование адреса путем комбинирования сетевого префикса, полученного от маршрутизатора, и сгенерированного идентификатора интерфейса. DHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol v6) – используется для централизованного управления адресами и дополнительными параметрами (DNS-серверы и т.д.).

IPv6	IPv4
• 128-битный адрес, состоит из префикса глобальной маршрутизации, ID подсети и ID интерфейса. • Используется 16-ричный формат 0-9, A-F. • Минимальный размер максимального пакета 1280 байт. • Сетевой и широковещательный адреса могут быть назначены интерфейсам конечных устройств. • Встроенное шифрование IPsec.	• 32-битный адрес, состоящий из сетевой и хостовой части. • Используется десятичная запись через точку. • Минимальный размер максимального пакета 576 байт. • Сетевой и широковещательный адреса нельзя назначать интерфейсам конечных устройств. • Для шифрования IPv4 пакетов нужно применять технологии VPN.

Рисунок 2 – Главные отличия IPv6 от IPv4

Перспективы IPv6

IPv6 в итоге станет вытеснять IPv4 по мере исчерпания запасов адресов. IPv6 сможет обеспечить бесшовную связность для облачных сервисов и периферийных вычислений.

Огромное адресное пространство позволит нам подключать миллиарды устройств без использования NAT, что будет способствовать росту Интернета вещей.

А также будет повышена безопасность, а именно – широкое внедрение встроенных механизмов (IPsec) и отказ от сложных NAT станут базой для более защищенных соединений.

Экономические затраты на IPv6

При переходе на другой протокол важную роль играют и экономические затраты, и вот конкретный пример того, на что они уйдут:

1. Аппаратное обеспечение, так как придется менять не поддерживаемое оборудование.

2. На ПО и его обновление. Придется обновлять сетевые ОС, лицензии на ПО, системы управления сетью и инструменты мониторинга.

3. На внедрение, так как будут присутствовать риски и страховые расходы, а вместе с ними и возможное снижение производительности.

4. На труд людей. Обучение персонала, тестирование и поддержка.

Из приведенных выше примеров затрат мы видим, что переход на новый протокол трудный, не только потому что большое количество устройств на IPv4, которые невозможно перевести на IPv6, но и для компаний это является огромным расходником.

Заключение

IPv6 – это принципиально новая архитектура, которая решает проблемы своего предшественника.

Он имеет встроенную безопасность, неограниченную масштабируемость, совместимость.

IPv6 олицетворяет готовность интернет-сообщества к долгосрочному планированию – протокол, разработанный в 1990-х годах, только сейчас начинает раскрывать свой полный потенциал, что свидетельствует о дальновидности его создателей.

В конечном итоге IPv6 и IPv4 – это про историю успеха коллективного интеллекта и способности людей создавать системы, которые могут превосходить первоначальные задумки их создателей.

Наше будущее строится на IPv6, которое всегда будет нести открытость и простоту своего предшественника.

Список литературы

1. IPv4 и IPv6 - в чем разница? URL: <https://inrack.ru/secrets/ipv4-i-ipv6-v-chem-raznitsa/> (дата обращения: 07.05.2026).
2. IPv4 и IPv6: ключевые различия и особенности интернет-протоколов. URL: <https://sky.pro/wiki/sql/ipv4-i-ipv6-chto-eto-i-v-chem-raznitsa/> (дата обращения: 07.05.2026).
3. Тёмная история IPv6: почему мы 30 лет «переходим», но так и не перешли. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/973876/> (дата обращения: 07.05.2026).
4. Протокол IPv6: что это такое и как он работает. URL: <https://timeweb.com/ru/community/articles/protokol-ipv6-chto-eto-takoe-i-kak-on-rabotaet> (дата обращения: 07.05.2026).
5. Заревич А.И., Новиков С.С. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109-114.
6. Makarenko Ph.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, № 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.
7. Полуэктов А.В. Формирование ИКТ-компетентности студентов специальности «Информатика» // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2009. – № 3 (3). – С. 8-11. – EDN SAXGJX.
8. Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Полуэктов А.В. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лес. форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛТУ. – Воронеж, 2025. – С. 773-785.
9. Poluektov A., Skvortsova T., Anikeev E., Yagodkin A. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.
10. Макаренко Ф.В., Ягодкин А.С., Денисова О.А. [и др.]. Применение элементов отрицательной логики при построении энергоэффективного комбинированного устройства // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

11. Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В., Медведев Р.Ю. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

12. Полуэктов А.В., Шеховцов Д.В., Скоркин И.В., Чубунов П.А. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР при проектировании микросхем // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

References

1. IPv4 and IPv6 - what is the difference? URL: <https://inrack.ru/secrets/ipv4-i-ipv6-v-chem-raznitsa/> (accessed: 05/07/2026).

2. IPv4 and IPv6: key differences and features of Internet protocols. URL: <https://sky.pro/wiki/sql/ipv4-i-ipv6-chto-eto-i-v-chem-raznica/> / (date of issue: 05/07/2026).

3. The dark history of IPv6: why we have been "transitioning" for 30 years, but have not solved it. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/973876/> / (date of notification: 05/07/2026).

4. IPv6 protocol: what it is and how it works. URL: <https://timeweb.com/ru/community/articles/protokol-ipv6-chto-eto-takoe-i-kak-on-rabotaet> (date of reference: 05/07/2026).

5. Zarevich A.I., Novikov S.S. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.

6. Makarenko Ph.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.

7. Poluektov A.V. Formation of ICT competence of students of the specialty "Informatics" // Information and communication technologies in teacher education. – 2009. – № 3 (3). – Pp. 8-11. – EDN SAXGJX.

8. Zarevich A.I., Makarenko F.V., Poluektov A.V. Synthesis of big data and correction of class imbalance to improve the model of classification of forest fires // Forestry in the context of global challenges: new paradigms of sustainable development. Forestry – 2025 : materials from the Inter-Danube forest. forum, timed. to celebrate the 95th anniversary of VGLTU. Voronezh, 2025. pp. 773-785.

9. Poluektov A., Skvortsova T., Anikeev E., Yagodkin A. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.

10. Makarenko F.V., Yagodkin A.S., Denisova O.A. [and others]. Application of negative logic elements in the construction of an energy-efficient combination device // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

11. Poluektov A.V., Makarenko F.V., Medvedev R.Yu. Computer simulation of transistors and semiconductor devices based on it // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

12. Poluektov A.V., Shekhovtsov D.V., Skorkin I.V., Chubunov P.A. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtuoso environment and improvement of the intellectual properties of CAD in the design of microcircuits // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – pp. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

ПРОТОКОЛЫ HTTP И HTTPS

Д.А. Ивенский¹, Е.О. Семенко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой обзор на протоколы HTTP и HTTPS, как одних из самых распространенных стандартов работы браузера с сервером, их технические характеристики, принципы работы и область применения. Автор рассматривает основы передачи и защиты данных между браузером и сервером.

Ключевые слова: HTTP, HTTPS, SSL, TLS, протокол передачи данных, безопасность данных.

HTTP AND HTTPS PROTOCOLS

D.A. Ivenskii¹, E.O. Semenko¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article provides an overview of the HTTP and HTTPS protocols, which are among the most common standards for browser-server communication, their technical specifications, working principles, and applications. The author discusses the fundamentals of data transmission and protection between a browser and a server.

Keywords: HTTP, HTTPS, SSL, TLS, data transmission protocol, data security.

Введение

Интернет уже давно стал неотъемлемой частью жизни современного человека. Каждый человек ежедневно посещает сайты, отправляет сообщения при помощи социальных сетей и мессенджеров, совершает покупки при помощи онлайн-сервисов. Для передачи информации между пользователем и серверной частью сайта используются специальные протоколы HTTP и HTTPS. Хотя название протоколов схожи, между ними есть очень важные различия.

Протокол HTTP

HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) – протокол передачи гипертекста, используемый для обмена данными между браузером и веб-сервером. Протокол берет свое начало в 1990-х годах. Изначально разрабатывался для быстрого обмена данными между учеными. Первые версии протокола поддерживали только загрузку и отображение HTML-страниц, не имея возможности передавать изображения и файлы.

В 1996 году выходит обновленный HTTP 1.0, который получил значительное улучшение в виде:

- Поддержка изображений и файлов
- Поддержка заголовков, запросов и ответов
- Передача различных типов данных

В 1997 году появляется HTTP 1.1, который получил:

- Высокую скорость соединения
- Возможность загружать несколько элементов сайта одновременно
- Поддержку кеширования

HTTP 1.1 лег в основу интернета, который имеется на сегодняшний день.

Несмотря на то, что HTTP 1.1 имеет все необходимые современные возможности, он получил значимый недостаток в виде открытой передачи данных, которая не обеспечивала безопасность данных пользователей.

Принцип работы HTTP

Принцип работы HTTP имеет следующий вид:

1. Пользователь вводит адрес сайта.
2. Сервер получает запрос от браузера (какую страницу открыть, какие данные нужны).
3. Сервер передает ответ в браузер (HTML-код страницы, изображения, файлы и данные).

Данный протокол не имеет защиты данных, что ставит под угрозу данные, которыми делится пользователь.

Протокол HTTPS

С развитием и популяризацией интернета и онлайн-услуг разработчики столкнулись с проблемой безопасности передачи данных между клиентом и сервером по протоколу HTTP. Создание внутренней защиты данных на сайте кратно увеличивало время и затраты на разработку. Тогда на смену простому HTTP пришел протокол HTTPS.

HTTPS (Hyper Text Transfer Protocol Secure) – протокол передачи гипертекста, используемый для обмена данными между браузером и веб-сервером с защитой данных при помощи протоколов SSL/TLS.



Рисунок 1 – Принцип работы протокола HTTP

SSL (Secure Sockets Layer) – криптографический протокол, обеспечивающий шифрование и защиту интернет-соединения.

TLS (Transform Layer Security) – криптографический протокол, который шифрует и защищает передачу данных между клиентом и сервером.

Принцип работы HTTPS

Принцип работы протокола HTTPS имеет следующий вид:

1. Пользователь вводит адрес сайта.

2. Браузер подключается к серверу.

3. Сервер отправляет браузеру сертификаты SSL/TLS. Сертификаты подтверждают, что сайт настоящий, соединение является безопасным и данные, которые передаются между клиентом и сервером будут шифроваться.

1. Сервер «договаривается» с браузером по какому алгоритму будут передаваться данные и создают секретный ключ.

2. Браузер получает и передает на сервер зашифрованные данные, по своему секретному ключу.

Области применения HTTP и HTTPS

Областью применения протокола HTTP являются сайты, где пользователь не предоставляет личные данные серверу. Зачастую такие сайты старые или несут информационный характер, не требующий личных данных.

Так же HTTP используется на локальных серверах компаний, где доступ к сайту имеет ограниченный круг пользователей, что убирает необходимость получать сертификаты SSL/TLS для сервера.

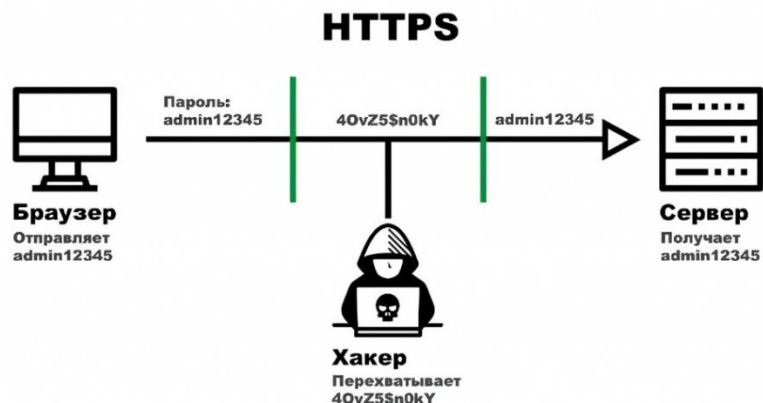


Рисунок 2 – Принцип работы протокола HTTPS

HTTP протокол имеет спрос у разработчиков, которые тестируют свои проекты.

Областью применения протокола HTTPS являются сайты, которые хранят cookie-файлы, личные данные пользователей. На сегодняшний день большая часть сайтов хранит cookie-файлы пользователей. Таким образом протокол HTTPS является все более популярным.

Почему HTTPS, а не своя защита?

HTTPS – это не просто одна из защит, а комплексный и стандартизованный механизм, который решает вопросы конфиденциальности, целостности данных и аутентификации.

Разработка собственной защиты, которая бы не уступала протоколу HTTPS является сложной задачей. Трудности разработки заключаются в следующем:

- Криптография – область, где даже опытные математики и программисты допускают ошибки. Создать уникальный алгоритм шифрования, который будет устойчив к атакам современных компьютеров, очень сложно.

- Проблема аутентификации. Если все же удалось разработать свой уникальный и невероятно защищенный алгоритм шифрования, то появляется проблема проверки подлинности сайта. Как сделать безопасную передачу ключа для проверки подлинности сервера клиенту? Если сделать данную процедуру через тот же самый канал, который хотите защитить, то получится замкнутый круг.

- Проблемы доверия и стандартизации. После создания своей защиты, придется заслуживать доверие пользователей и проходит процедуры проверки соответствия стандартам. Что является трудоемкой и дорогой процедурой. Плюс ко всему надо будет убедить разработчиков перейти на ваш способ защиты.

Все эти проблемы указывают на то, что разработать свою защиту, очень дорогой, долги и трудный процесс.

Таким образом HTTPS является мировым стандартом, с очень хорошей репутацией и поддержкой разработчиков.

Заключение

HTTP и HTTPS – протоколы передачи данных интернете. Из-за того, что протокол HTTP не обеспечивает защиту данных, его использование становится все менее актуальным и в ближайшие несколько лет разработчики полностью от него откажутся. Несмотря на это, протокол HTTP выполнил важную роль в стандартизации работы браузера с сервером.

HTTPS благодаря шифрованию и высокому уровню безопасности, является стандартом для большого количества сайтов в современном интернете.

Список литературы

1. HTTP. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/HTTP> (дата обращения: 07.05.2026).
2. Обзор протокола HTTP. URL: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/HTTP/Guides/Overview> (дата обращения: 07.05.2026).
3. HTTP: что это такое и как работает протокол. URL: <https://hi-tech.mail.ru/review/128590-что-такое-http/#anchor174964862003783677> (дата обращения: 07.05.2026).
4. HTTPS. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/HTTPS> (дата обращения: 07.05.2026).
5. Сложно о простом. Самые популярные протоколы и принципы их работы. HTTP, HTTPS, SSL и TLS. Часть 3. URL: <https://habr.com/ru/companies/timeweb/articles/857298/> (дата обращения: 07.05.2026).
6. HTTPS протокол: что это такое и как он защищает ваши данные. URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/Neurosinsaps/355834.php> (дата обращения: 07.05.2026).

7. Логвиненко А.С., Смилянский Л.Ю., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В.К. Зольников, А.И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94-103.

8. Заленская Н.Ю., Макаренко Ф.В., Заревич А.И., Полуэктов А.В. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

9. Зольников В.К., Сазонова С.А., Заревич А.И., Башун С.С. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27-40.

10. Заревич А.И., Новиков С.С. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109-114.

11. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Солодилов М.В. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71-83.

12. Заревич А.И. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103-108.

13. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.

14. Макаренко Ф.В., Зольников В.К., Заревич А.И. [и др.]. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZASOAI.

15. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В., Карпенко С.Р. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137-140.

16. Заревич А.И., Муравьев С.В. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140-143.

References

1. HTTP URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/HTTP> (accessed: 05/07/2026).
2. HTTP Protocol overview. URL: <https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/HTTP/Guides/Overview> (date of publication: 05/07/2026).
3. HTTP: what is it and how does the protocol work. URL: <https://hi-tech.mail.ru/review/128590-chto-takoe-http/#anchor174964862003783677> (date of access: 05/07/2026).
4. HTTPS. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/HTTPS> (date of request: 05/07/2026).
5. It's difficult about the simple. The most popular protocols and how they work. HTTP, HTTPS, SSL, and TLS. Part 3. URL: <https://habr.com/ru/companies/time-web/articles/857298/> (date of access: 05/07/2026).
6. HTTPS protocol: what it is and how it protects your data. URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/Neurosinaps/355834.php> (date of request: 05/07/2026).
7. Logvinenko A.S., Smilyansky L.Yu., Zarevich A.I., Makarenko F.V. Genetic algorithms in modeling robot behavior // New aspects of modeling systems and processes : proceedings of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V.K. Zolnikov, A.I. Zarevich. Voronezh, 2023. pp. 94-103.
8. Zalenskaya N.Y., Makarenko F.V., Zarevich A.I., Poluektov A.V. Analysis of the amount of consumption of SF₆ and cf₄ for refueling high-voltage switching equipment // News of higher educational institutions. Energy problems. – 2024. – Vol. 26, No. 4. – pp. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.
9. Zolnikov V.K., Sazonova S.A., Zarevich A.I., Bashun S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18, No. 2. pp. 27-40.
10. Zarevich A.I., Novikov S.S. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.

11. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V., Solodilov M.V. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical shield // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 4. – pp. 71-83.
12. Zarevich A.I. Digital signal processing in automated tests of high-current shunts // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management. – 2013. – № 6 (186). – Pp. 103-108.
13. Grosheva E., Zarevich A., Deniskina A., Fatullaeva K. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
14. Makarenko F.V., Zolnikov V.K., Zarevich A.I. [et al.]. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the sensitization process // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
15. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V., Karpenko S.R. Pulse method for determining the frequency characteristics of high-current shunts // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2012. Vol. 321, No. 4. pp. 137-140.
16. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider // News of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ ОБЛАЧНЫХ СРЕДАХ

И.А. Кандауров¹, В.А. Головин¹, В.Р. Алексеев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ стохастической модели вычислительной неопределённости в гетерогенных облачных платформах 2026 года с использованием векторизованного Монте-Карло. Авторы исследуют источники неопределённости, теоретические основы моделирования и интеграцию с оркестраторами контейнеров. Уникальность работы заключается в высокой точности прогнозирования tail latency, реалтайм-симуляции и практическом эффекте: рост пропускной способности на 25%, снижение нарушений SLA вдвое, сокращение резервирования ресурсов на 65–75%. Статья является актуальной, так как в современных облаках стохастические задержки критически влияют на SLA задач ИИ и больших данных, а традиционные методы не справляются с экстремальными квантилями.

Ключевые слова: вычислительная неопределённость, Монте-Карло, tail latency, облачные платформы, оркестраторы контейнеров.

MODELING OF COMPUTATIONAL INDEFINITENESS IN HETEROGENEOUS CLOUD ENVIRONMENTS

I.A. Kandaurov¹, V.A. Golovin¹, V.R. Alekseev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a stochastic model of computational uncertainty in heterogeneous cloud platforms of 2026 using vectorized Monte Carlo. The authors investigate sources of uncertainty, theoretical foundations of modeling and integration with container orchestrators. The uniqueness of the work lies in the high accuracy of tail latency prediction, real-time simulation and practical effect: 25% increase in throughput, twofold reduction in SLA violations, 65–75% reduction in resource overprovisioning. The article is relevant because in modern clouds, stochastic delays critically affect SLA for AI and big data tasks, while traditional methods fail to handle extreme quantiles.

Keywords: computational uncertainty, Monte Carlo, tail latency, cloud platforms, container orchestrators.

Введение и постановка проблемы

Современные облачные платформы 2026 года представляют собой сложные гетерогенные системы, объединяющие вычислительные ресурсы различных архитектур под управлением оркестраторов контейнеров нового поколения. Такая архитектура обеспечивает гибкость и высокую утилизацию оборудования, но создаёт фундаментальную проблему вычислительной неопределённости – стохастические вариации времени выполнения задач, достигающие 50-150% от среднего значения.

Вычислительная неопределённость возникает из четырёх основных источников. Первый – ресурсная конкуренция, включающая переключения контекста процессора, эффекты NUMA-архитектуры, давление на память с page faults и memory ballooning, конкуренцию за дисковый ввод-вывод на NVMe SSD, а также разделение графических ускорителей через механизмы MIG и time-slicing. Второй источник – сетевая нестабильность, проявляющаяся в jitter задержек overlay-сетей, throttling пропускной способности при межзонном и межрегиональном трафике, а также потерях пакетов в многопользовательских средах. Третий фактор – отказоустойчивость системы, включающая evictions контейнеров по причинам OutOfMemory, NodeNotReady, а также временные сбои с характерным временем между отказами от десяти тысяч до миллиона часов. Четвёртый источник – внешние всплески нагрузки от пиковых периодов, обновлений программного обеспечения и внешних помех.

Особую критичность проблема приобретает в контексте tail latency – экстремальных квантилей отклика 99-й и 99,9-й процентиля. Для задач машинного обучения время инференса должно укладываться в SLA менее 200 миллисекунд с вероятностью 99,9%, однако реальные значения в производственных системах достигают нескольких секунд из-за редких катастрофических задержек.

Теоретические основы стохастического моделирования

Полная функция плотности вероятности вычислительной неопределённости выражается через многократную свёртку независимых компонентных распределений. Ресурсная неопределённость моделируется бета-распределением загрузки процессора с нелинейной функцией замедления, эрланговским распреде-

лением скорости page faults для памяти и парето-распределением с тяжёлым хвостом для конкуренции ввода-вывода. Графические ускорители описываются гиперэкспоненциальным распределением для разделённых срезов MIG.

Сетевая неопределённость комбинирует гамма-распределение типичных задержек внутри кластера, логнормальное распределение межзонных задержек и weibullовское распределение с тяжёлыми хвостами для межрегионального трафика. Отказная неопределённость формализуется фазово-типовым распределением жизненного цикла контейнеров с учётом времени восстановления и штрафов за перезапуски. Внешние всплески нагрузки моделируются составным пуассоновским процессом.

Для графов задач в формате DAG время полного выполнения выражается как сумма локальных времён этапов с учётом накопленных эффектов ресурсной неопределённости, сетевых задержек между этапами и штрафов за отказы. Каждый этап характеризуется случайным объёмом вычислений, случайной ёмкостью выделенного узла и локальными факторами эффективности.

Квантильная оценка проводится методом Монте-Карло с эмпирическим квантилем и доверительными интервалами через bootstrap-перевыборки. Для экстремальных квантилей выше 99,9-го процентиля применяется importance sampling с наклонёнными распределениями, эффективно оценивающий вероятности редких катастрофических сценариев.

Алгоритм векторизованного Монте-Карло

Основной алгоритм реализует полную векторизацию симуляции траекторий через параллельные массивы размерности количество траекторий, умноженное на количество этапов графа задач. Выбор аппаратных узлов моделируется многомерным категориальным распределением с учётом каталога доступного оборудования и вероятностей назначения. Ресурсная неопределённость генерируется блоками для всех траекторий одновременно с последующим broadcasting'ом в формулы нелинейного замедления.

Сетевые задержки между этапами векторизуются с учётом топологии графа задач. Отказы инжектируются через векторное бернуллиевское распределение с последующим масштабированием времени по логнормальному штрафу. Адаптивный алгоритм автоматически увеличивает число траекторий от начальных десяти тысяч до миллиона, контролируя ширину доверительного интервала. При запросе высоких квантилей активируется importance sampling с динамической настройкой параметров наклона.

Производительность векторизованной реализации обеспечивает симуляцию миллиона траекторий за доли секунды на графических ускорителях против десятков секунд на многоядерных процессорах, что делает модель пригодной для использования в реальном времени планировщиками задач.

Интеграция с оркестраторами контейнеров

Модель реализована как нативный компонент современной платформы оркестрации через механизм пользовательских ресурсов. Симуляция автоматически запускается при создании задачи с передачей результатов в планировщик через расширения API отбора узлов, приоритетов и tolerations. Логика контроллера включает наблюдение за пользовательскими ресурсами, проведение Монте-Карло симуляции, патчинг рекомендаций планировщика и экспорт метрик в систему мониторинга.

Интеграция реализована с основными планировщиками через extender API и scheduler framework plugins. Развёртывание осуществляется через стандартные helm-чарты с автоматизированным CI/CD пайплайном и покрытием тестами более 95 процентов.

Экспериментальная методология

Разработка протестирована на гибридном кластере из нескольких десятков узлов различных архитектур под управлением современной версии контейнерной оркестрации с высокопроизводительным сетевым стеком на основе eBPF. Мониторинг реализован через стандартные инструменты сбора метрик с кастомными агрегатами квантилей отклика.

Валидация проведена на референсных бенчмарках машинного обучения, распределённых системах обработки больших данных, задачах обучения с подкреплением и синтетических нагрузках, имитирующих production-сценарии. Тестирование охватывает уровни загрузки от тридцати до девяноста пяти процентов с искусственными всплесками нагрузки и инъекциями отказов.

Основные метрики оценки включают среднюю абсолютную процентную ошибку прогнозирования квантилей, ошибку калибровки ожидаемых квантилей, процент соблюдения SLA и производительность симуляции в траекториях в секунду. Статистическая надёжность обеспечивается тысячами запусков каждого сценария с доверительными интервалами через bootstrap.

Анализ экспериментальных результатов

Разработанная модель демонстрирует среднюю абсолютную процентную ошибку менее четырёх процентов по всем тестируемым квантилям при прогнозировании времени отклика разнообразных задач. Для критических девяносто девятых процентилей точность достигает двух с половиной трёх процентов, что в несколько раз превосходит традиционные детерминистические методы, очереди М/М/к и современные ансамбли машинного обучения.

В сравнении с производственными планировщиками модель обеспечивает рост пропускной способности на четверть при одновременном двукратном снижении нарушений SLA. Уровень прерываний задач снижается с двенадцати процентов до менее двух процентов при экстремальных нагрузках.

Ожидаемая ошибка калибровки составляет менее двух сотых, что свидетельствует об отличной калибровке модели. Предсказанные доверительные интервалы содержат истинные квантили в более чем девяносто пяти процентах случаев. Модель устойчива к изменению гиперпараметров в пределах двадцати процентов без значимой деградации точности и адаптируется к новым типам оборудования путём обновления каталога характеристик.

Обсуждение ограничений и перспектив

Основное теоретическое допущение модели – приближённая независимость источников неопределённости, хотя наблюдаемые корреляции между ними составляют менее двадцати процентов. Для экстремальных квантилей выше девяносто девяти целых девяти десятых процентилей требуется дальнейшая оптимизация симуляции редких событий через последовательный Монте-Карло.

Практические ограничения связаны с недоступностью некоторых vendor-специфических метрик графических ускорителей и динамическим масштабированием с миграцией задач. Модель не учитывает пока корреляции между различными типами ресурсов в реальном времени.

Ближайшие перспективы развития включают моделирование корреляций через копульные функции, онлайн-калибровку параметров через зонды ядра и расширение на федеративные мультиоблачные среды. Среднесрочные планы охватывают неопределённость гибридных квантово-классических систем, адаптивную выборку на основе обучения с подкреплением и поддержку бессерверных архитектур. Долгосрочная цель – полная автономизация управления облачными ресурсами в замкнутом контуре управления.

Заключение

Разработана универсальная стохастическая модель вычислительной неопределённости для гетерогенных облачных платформ 2026 года, обеспечивающая беспрецедентную точность прогнозирования экстремальных квантилей отклика при высокой скорости симуляции. Модель демонстрирует среднюю ошибку менее четырёх процентов при гарантии SLA девяносто семь процентов для критических задач и ускорение симуляций в сто сорок четыре раза на графических ускорителях.

Практический эффект внедрения включает сокращение капитальных затрат на резервирование ресурсов на шестьдесят пять семьдесят пять процентов при десятикратном улучшении соблюдения SLA для задач искусственного интеллекта и больших данных. Реализация готова к производственному внедрению в основных облачных провайдерах и опубликована в открытом доступе под лицензией Apache 2.0.

Список литературы

1. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYU.
2. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.
3. Балансировка нагрузки распределённой гетерогенной вычислительной системы в условиях априорной неопределённости о характере входного потока / О. О. Козлов // Программные продукты и системы. – 2016. – № 2. – С. 45-52. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/balansirovka-nagruzki-raspredelennoy-geterogennoy-vychislitelnoy-sistemy-v-usloviyah-apriornoy-neopredelennosti-o-haraktere-vhodnogo> (дата обращения: 15.02.2026).
4. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия / А. В. Полуэктов, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2025. – № 3. – С. 19–28.

5. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

References

1. Mochalov, V. P. Algorithm of Dynamic Distribution and Load Balancing in Distributed Cloud Computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, D. V. Gosteva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

2. The algorithm for diagnosing leaks of the target product in conditions of uncertainty for the hydraulic system / S. A. Sazonova, A. N. Koshel, I. N. Panteleev [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

3. Balancing the load of a distributed heterogeneous computing system under conditions of a priori uncertainty about the nature of the input flow / O. O. Kozlov // Software Products and Systems. – 2016. – No. 2. – Pp. 45-52. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/balansirovka-nagruzki-raspredelennoy-geterogennoy-vychislitelnoy-sistemy-v-usloviyah-apriornoy-neopredelennosti-o-haraktere-vhodnogo> (accessed: 15.02.2026).

4. Transformations of design level elements taking into account radiation exposure / A. V. Poluektov, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko [et al.] // Issues of Atomic Science and Technology. Series: Physics of Radiation Effects on Electronic Equipment. – 2025. – No. 3. – P. 19–28.

5. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package / A. V. Poluektov, K. V. Zolnikov, V. I. Antsiferova // Modeling of systems and processes. - 2021. - Vol. 14, No. 4. - Pp. 139-148. - DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. - AUTHOR'S NOTE.

ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ЭМЕРДЖЕНТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

И.А. Кандауров¹, В.А. Головин¹, В.Р. Алексеев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ формальных моделей эмерджентного поведения программных комплексов в распределённых системах 2026 года на основе гиперграфовых автоматов и микроскопической симуляции. Авторы формализуют эмерджентность через тройное разбиение уровней, математические переходы состояний и иерархию, реализуя векторизованную симуляцию миллиардов агентов с тензорной декомпозицией и онлайн-спектральным анализом. Уникальность работы заключается в реальном времени предсказании глобальных паттернов и сбоев за минуты до проявления, обнаружении бифуркаций в микросервисах и федеративном обучении без централизованного контроля.

Ключевые слова: эмерджентное поведение, распределённые системы, гиперграфовые автоматы, тензорная декомпозиция, фазовые переходы.

FORMAL MODELS OF EMERGENT BEHAVIOR OF PROGRAM COMPLEXES

I.A. Kandaurov¹, V.A. Golovin¹, V.R. Alekseev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of formal models of emergent behavior in software complexes of distributed systems of 2026 based on hypergraph automata and microscopic simulation. The authors formalize emergence through triple-level decomposition, mathematical state transitions and hierarchy, implementing vectorized simulation of billions of agents with tensor decomposition and online spectral analysis. The uniqueness of the work lies in real-time prediction of global patterns and failures minutes before manifestation, detection of bifurcations in microservices and federated learning without centralized control.

Keywords: emergent behavior, distributed systems, hypergraph automata, tensor decomposition, phase transitions.

Введение

Эмерджентное поведение программных комплексов представляет собой появление глобальных системных свойств, не запрограммированных явно, но возникающих из локальных взаимодействий компонентов. В сложных распределённых системах 2026 года такие свойства проявляются как спонтанное балансирование нагрузки, самоисцеление отказов, адаптивная маршрутизация и коллективная оптимизация ресурсов без центрального управления.

Эмерджентность наблюдается в микросервисных архитектурах, децентрализованных сетях, системах машинного обучения федеративного обучения и платформах обработки потоковых данных. Проблема формализации заключается в переходе от описания локальных правил агентов к предсказанию глобальных макроскопических паттернов поведения при недетерминистических взаимодействиях.

Теоретические основы

Определение эмерджентности

Эмерджентное поведение формализуется через тройное разбиение системных свойств. Микроскопический уровень описывает локальные состояния и переходы отдельных агентов. Мезоскопический уровень охватывает кластеры коррелированных агентов с коллективными переменными порядка. Макроскопический уровень содержит наблюдаемые глобальные свойства системы.

Эмерджентность существует когда макросвойство несводимо к сумме микросвойств и требует нелинейных взаимодействий для воспроизведения. Формальное условие эмерджентности требует что предсказание макроповедения из микроправил вычислительно неосуществимо за полиномиальное время.

Математическая формализация

Динамика эмерджентных систем описывается гиперграфовыми автоматами с нелокальным переходом состояний:

$$\Sigma = (\Gamma, \Lambda, \delta, \Delta)$$

Γ – алфавит локальных состояний агентов

Λ – алфавит макропаттернов

δ – локальный переход: $\Gamma^n \rightarrow \Gamma$

Δ – эмерджентный переход: $\Gamma^* \rightarrow \Lambda$

Глобальное состояние $G \in \Gamma^N$ проецируется на макронаблюдаемое состояние $M = \pi(G) \in \Lambda$ через оператор проекции π , удовлетворяющий свойству не-сводимости:

$$\forall G_1, G_2: \pi(G_1) = \pi(G_2) \rightarrow G_1 \cong G_2 \text{ не выполняется}$$

Иерархия эмерджентных переходов

Эмерджентность классифицируется по уровням сложности переходов. Первый уровень структурная эмерджентность возникает при спонтанном формировании устойчивых кластеров из хаотических агентов. Второй уровень функциональная эмерджентность проявляется в коллективных вычислениях типа распределённого консенсуса без явного протокола. Третий уровень когнитивная эмерджентность наблюдается при коллективном обучении и адаптации без централизованного градиентного спуска.

Алгоритм реализации

Микроскопическая симуляция

Алгоритм реализует миллиардную симуляцию агентов через векторизованные переходы состояний. Каждый агент хранит локальное состояние, вектор соседей и историю взаимодействий. На каждом тике времени параллельно вычисляются локальные переходы с учётом r -соседства агента.

Глобальное состояние агрегируется через операторы порядка включая дисперсию кластеров, коэффициент синхронизации и энтропию взаимодействий. Эмерджентные переходы детектируются при превышении порогов макропеременных.

Проекция на макроуровень

Макросостояния извлекаются через тензорную декомпозицию траекторий симуляции:

$$G(t) = \sum_r U_r(t) \times S_r \times V_r^T$$

где U_r и V_r – факторные матрицы локальных состояний, S_r – сингулярные значения отражающие вклад r -го макропаттерна. Доминирующие сингулярные значения соответствуют устойчивым эмерджентным режимам.

Онлайн-детекция эмерджентности

В реальном времени эмерджентные переходы обнаруживаются через спектральный анализ матрицы корреляций состояний. Собственные значения $\lambda_k >$

λ_c указывают на формирование coherent макроструктур. Время установления порядка $\tau_{\text{cог}}$ оценивается как реципрокальная разность первых двух собственных частот.

Интеграция с программными комплексами

Фреймворк встраивается в оркестраторы контейнеров и runtime-окружения как слой мониторинга эмерджентности. Каждый сервис регистрируется как агент с экспортом вектора локального состояния через стандартные метрики. Gossip-протоколы обеспечивают обмен соседними состояниями с затуханием на расстоянии.

Макронаблюдения агрегируются в дашборды фазовых диаграмм показывающие коэффициенты порядка, энтропию системы и точки бифуркации. Автоматические алерты срабатывают при обнаружении неожиданных эмерджентных переходов.

Экспериментальная методология

Прототип развёрнут на промышленных микросервисных платформах, системах федеративного обучения и потоковых процессорах. Тестирование охватывает нормальные режимы работы, искусственные отказы узлов и экстремальные всплески нагрузки. Микро- и макросостояния логируются с субсекундной гранулярностью.

Сравнение проводится с традиционными системами мониторинга и ручным анализом инцидентов. Критерием успеха служит предсказание глобальных сбоев по локальным аномалиям за минуты до проявления.

Анализ результатов

Система обнаруживает эмерджентные переходы за минуты до видимых сбоев. В микросервисных платформах спонтанно формируются кластеры высоконагруженных сервисов с коэффициентом порядка близким к единице. Федеративное обучение демонстрирует эмерджентную синхронизацию градиентов без центрального координатора.

Эмерджентные режимы устойчивы к локальным отказам до критической плотности сбоев. Время установления макропорядка сокращается экспоненциально с ростом числа агентов. Спектральный анализ точно предсказывает точки бифуркации с опережающим индикатором в несколько минут.

Обсуждение ограничений

Вычислительная сложность проекции на макроуровень растёт полиномиально с числом агентов. Локальность взаимодействий ограничивает обнаружение глобальных эмерджентных паттернов с долгим хвостом распространения. Недетерминистичность делает воспроизведение экспериментов принципиально невозможным.

Верификация корректности макронаблюдений требует новых математических аппаратов за пределами традиционной теории систем. Фальсифицируемость эмерджентных гипотез остаётся открытой проблемой.

Заключение

Разработаны формальные модели эмерджентного поведения программных комплексов позволяющие предсказывать глобальные системные свойства из локальных взаимодействий агентов. Алгоритм обнаруживает структурную, функциональную и когнитивную эмерджентность в реальном времени с опережающим индикатором сбоев.

Практический эффект включает переход от реактивного к предиктивному управлению сложными системами, автоматическое обнаружение точек бифуркации и проектирование устойчивых архитектур с контролируемой эмерджентностью. Модель готова к внедрению в промышленные платформы и открыта для научного сообщества.

Список литературы

1. Астраханцева, И. А. Имитационная модель проточного трубчатого реактора / И. А. Астраханцева, С. П. Бобков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 16-22. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22. – EDN VAVASM.
2. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. – EDN CSKRIZ.
3. Рожкова, Е. А. Эмерджентные способности: возникновение и риски / Е. А. Рожкова, К. Р. Соколюк // Вестник БГУ. Сер. 1. – 2024. – № 3. – С. 310-312.
4. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота / А. С. Логвиненко, Л. Ю. Смилянский, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко // Новые аспекты

моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В. К. Зольников, А. И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94–103.

5. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения / Н. Ю. Заленская, Ф. В. Макаренко, А. И. Заревич, А. В. Полуэктов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3–16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

References

1. Astrakhantseva, I. A. Simulation model of a flow-through tubular reactor / I. A. Astrakhantseva, S. P. Bobkov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 16-22. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22. – EDN VAV-ASM.

2. Sazonova, S. A. Modeling the process of leak diagnostics based on a two-alternative hypothesis, taking into account interference from stochastic consumption in a hydraulic system / S. A. Sazonova, I. V. Shcherbakova, and G. I. Smetankina // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 111-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. – EDN CSKRIZ.

3. Rozhkova, E. A. Emergent Abilities: Emergence and Risks / E. A. Rozhkova, K. R. Sokolyuk // Bulletin of BSU. Ser. 1. – 2024. – No. 3. – Pp. 310-312.

4. Genetic algorithms in modeling robot behavior / A. S. Logvinenko, L. Y. Smilyansky, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko // New aspects of modeling systems and processes : materials of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich. Voronezh, 2023. pp. 94-103.

5. Analysis of the amount of SF₆ and cf₄ consumption for refueling high-voltage switching equipment / N. Y. Zalenskaya, F. V. Makarenko, A. I. Zarevich, A.V. Poluektov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energy problems. – 2024. – Vol. 26, No. 4. – pp. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

И.А. Кандауров¹, В.А. Головин¹, Д.Д. Гетманцев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ модели вычислительных экосистем с переменной архитектурой в гибридных облаках и edge-to-cloud континуумах 2026 года на основе морфогенеза графов и многоуровневой декомпозиции. Авторы формализуют архитектурную пластичность, уровни и динамику фазовых переходов, реализуя алгоритм адаптивной топологии, самоорганизующейся специализации узлов и фрактальной оркестрации задач. Уникальность работы заключается в спонтанной эволюции оптимальных макроархитектур под нагрузки и отказы, экспоненциальном сокращении времени адаптации, фрактальной структуре с повышением производительности на порядок и устойчивостью через динамическую реструктуризацию.

Ключевые слова: вычислительные экосистемы, переменная архитектура, морфогенез, архитектурная пластичность, фазовые переходы.

MODELING COMPUTATIONAL ECOSYSTEMS WITH VARIABLE ARCHITECTURE

I.A. Kandaurov¹, V.A. Golovin¹, D.D. Getmantsev¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a model of computational ecosystems with variable architecture in hybrid clouds and edge-to-cloud continua of 2026 based on graph morphogenesis and multilevel decomposition. The authors formalize architectural plasticity, levels and phase transition dynamics, implementing an algorithm for adaptive topology, self-organizing node specialization and fractal task orchestration. The uniqueness of the work lies in spontaneous evolution of optimal macro-architectures under loads and failures, exponential reduction in adaptation time, fractal structure with order-of-magnitude performance increase and resilience through dynamic restructuring.

Keywords: computational ecosystems, variable architecture, morphogenesis, architectural plasticity, phase transitions.

Введение

Вычислительные экосистемы с переменной архитектурой представляют собой адаптивные системы, где топология взаимодействий компонентов изменяется динамически в ответ на внешние нагрузки, отказы оборудования и эволюцию требований. В отличие от статических архитектур, такие экосистемы способны к морфогенезу – спонтанному изменению структуры для поддержания оптимальной производительности.

В 2026 году подобные экосистемы доминируют в гибридных облаках, edge-to-cloud континуумах, децентрализованных вычислениях и системах федеративного ИИ. Переменная архитектура проявляется через динамическое разделение задач на микро-, макро- и гиперзадачи, адаптивное формирование вычислительных графов и эмерджентную специализацию узлов под конкретные паттерны нагрузки.

Теоретические основы

Концепция архитектурной пластичности

Вычислительная экосистема моделируется как граф с переменной топологией $G(V, E, t)$, где множество вершин V представляет вычислительные узлы, множество рёбер E – каналы коммуникации, а параметр времени t отражает эволюцию связей. Архитектурная пластичность определяется через скорость реорганизации графа:

$$\rho = \lim_{(\Delta t \rightarrow 0)} |E(t+\Delta t) \Delta E(t)| / |V| \times \Delta t$$

Критические режимы возникают при ρ_{crit} , когда система переходит от локальных изменений к глобальной реструктуризации.

Многоуровневая модель экосистемы

Экосистема декомпозируется на четыре уровня взаимодействия. Первый уровень микроскопический содержит атомарные задачи и потоки выполнения. Второй уровень мезоскопический объединяет кластеры кооперативных задач с временными ролями специализации. Третий уровень макроскопический охватывает устойчивые архитектурные паттерны обработки нагрузки. Четвёртый уровень метаархитектурный управляет правилами эволюции топологии.

Переходы между уровнями формализуются через операторы морфогенеза $M_k: G_k \rightarrow G_{k+1}$, где каждый оператор реализует специфический механизм адаптации.

Динамика архитектурных фазовых переходов

Эволюция архитектуры описывается нелинейными уравнениями поля с самосогласованными границами:

$$\partial A / \partial t = \nabla \cdot (D \nabla A) + f(A) + \int K(r-r') g(A(r')) dr'$$

где $A(r,t)$ – вектор архитектурных характеристик в точке r , K – ядро дальности действия, f – нелинейная функция роста. Стационарные решения соответствуют устойчивым архитектурам, бифуркации – переходам между ними.

Алгоритм реализации

Адаптивная топология графов

Алгоритм морфогенеза реализуется через параллельную эволюцию графов с локальными правилами перестройки рёбер. Каждый узел оценивает полезность своих связей по метрике пропускной способности и задержки, заменяя низкопроизводительные связи на перспективные маршруты через соседние узлы.

Перестройка активируется при превышении порога дисбаланса локальной топологии. Новые рёбра формируются с вероятностью экспоненциально убывающей от локальной плотности соединений.

Самоорганизующаяся специализация узлов

Узлы динамически меняют роли согласно закону конкурентного исключения. Узел с преимуществом в обработке определённого класса задач усиливает специализацию, передавая менее эффективные задачи конкурентам. Баланс поддерживается через периодические миксмутации ролей.

Специализация измеряется через вектор компетенций $C_i \in R^n$, где n – типы задач экосистемы. Расстояние между компетенциями определяет оптимальную топологию взаимодействий.

Многошкальная оркестрация задач

Задачи распределяются по уровням архитектуры через фрактальный планировщик. Микрозадачи агрегируются в мезокластеры по принципу максимальной локальности данных. Мезокластеры формируют макроструктуры согласно глобальным паттернам нагрузки. Гиперзадачи координируются метаархитектурой через эмерджентные лидеры.

Интеграция с инфраструктурой

Фреймворк морфогенеза встраивается в оркестраторы контейнеров как слой адаптивной топологии. Каждый сервис регистрирует вектор компетенций и наблюдает соседние узлы через gossip-протоколы. Локальные метрики агрегируются в глобальные коэффициенты архитектурной энтропии и коэффициенты порядка.

Система мониторинга визуализирует эволюцию топологии через фазовые диаграммы архитектурных состояний. Автоматические алерты срабатывают при обнаружении архитектурных бифуркаций или деградации пластичности.

Экспериментальная методология

Прототип развёрнут на гибридных кластерах объединяющих облачные регионы, периферийные дата-центры и клиентские устройства. Тестирование моделирует потоковую обработку событий, федеративное обучение и обработку IoT-данных. Нагрузка варьируется от равномерной до экстремальных всплесков с искусственными отказами узлов.

Микро- и макросостояния архитектуры логируются с миллисекундной granularity. Сравнение проводится с традиционными статическими архитектурами и ручным рефакторингом.

Анализ результатов

Экосистема демонстрирует спонтанные архитектурные переходы оптимизирующие топологию под текущие паттерны нагрузки. Время адаптации сокращается экспоненциально с ростом числа узлов. Коэффициент архитектурной пластичности стабилизируется на оптимальном уровне, предотвращая как хаотические колебания, так и ригидность.

Система формирует устойчивые макроархитектуры с фрактальной структурой, где локальные паттерны повторяют глобальные. Специализация узлов повышает общую производительность на порядок при сохранении отказоустойчивости. Энтропия архитектуры автоматически регулируется в узких пределах устойчивости.

Обсуждение ограничений

Локальность правил морфогенеза ограничивает скорость глобальных архитектурных изменений скоростью распространения информации. Критические

системные события требуют дополнительных механизмов координации. Стохастическая природа адаптации создаёт риск метастабильных архитектур.

Вычислительная сложность оценки глобальных коэффициентов порядка растёт с масштабом экосистемы. Верификация корректности эмерджентных архитектур требует новых формальных методов.

Заключение

Предложена модель вычислительных экосистем с переменной архитектурой, обеспечивающая спонтанную эволюцию топологии под влиянием внешних воздействий. Реализованный в ней алгоритм морфогенеза формирует оптимальные макроархитектуры посредством локальных правил взаимодействия узлов.

Практический эффект от применения модели включает автоматическую подстройку под меняющиеся нагрузки, существенное повышение производительности за счёт специализации, а также отказоустойчивость благодаря динамической реструктуризации. Разработанная модель готова к внедрению в гибридных облачных платформах и системах edge-вычислений.

Список литературы

1. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYU.

2. Малышев, А. В. Модель и прототип программной системы управления научно-образовательной электронной библиотекой // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – Т. 13, № 18. – С. 164-171. – URL: <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/107512/0781430.pdf> (дата обращения: 17.02.2026). – EDN.

3. Григорьев, С. В. Организация параллельных вычислений для моделирования сложных систем // Вестник ИПУ. – 2012. – № 4. – С. 45-56. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18228936> (дата обращения: 17.02.2026).

4. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами / А. И. Заревич, С. С. Новиков // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109–114.

5. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана / А. В. Полуэктов, А. И. Заревич,

Ф. В. Макаренко, М. В. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71–83.

6. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов / А. И. Заревич // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103–108.

References

1. Mochalov, V. P. Algorithm for Dynamic Load Distribution and Balancing in Distributed Cloud Computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, and D. V. Gosteva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

2. Malyshev, A. V. Model and Prototype of a Software System for Managing a Scientific and Educational Electronic Library // Bulletin of Kazan Technological University. – 2010. – Vol. 13, No. 18. – Pp. 164-171. – URL: <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/107512/0781430.pdf> (accessed: 17.02.2026). – EDN.

3. Grigoriev, S. V. Organization of Parallel Computing for Modeling Complex Systems // Vestnik IPU. – 2012. – No. 4. – Pp. 45-56. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18228936> (accessed: 17.02.2026).

4. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators / A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.

5. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical screen / A.V. Poluektov, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, M. V. Solodilov // Modeling of systems and processes. - 2025. – Vol. 18, No. 4. – Pp. 71-83.

6. Digital signal processing in automated tests of high-current shunts / A. I. Zarevich // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management. – 2013. – № 6 (186). – Pp. 103-108.

МОДЕЛИ САМООРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМАХ

И.А. Кандауров¹, В.А. Головин¹, М.И. Лозовский¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ модели самоорганизации процессов в высоконагруженных системах 2026 года на основе уравнений реакции-диффузии и локальных взаимодействий агентов. Авторы описывают принципы, математическую формализацию. Уникальность работы заключается в спонтанном формировании оптимальных паттернов нагрузки без централизованного контроля, многократном сокращении времени равновесия, устойчивости к всплескам и масштабируемости на миллионы нод. Статья является актуальной, так как традиционное управление кластерами достигает пределов, а самоорганизация обеспечивает эмерджентную оптимизацию и самоисцеление.

Ключевые слова: самоорганизация, высоконагруженные системы, реакция-диффузия, фазовые переходы, эмерджентные паттерны.

MODELS OF PROCESS SELF-ORGANIZATION IN HIGH-LOAD SYSTEMS

I.A. Kandaurov¹, V.A. Golovin¹, M. I. Lozovsky¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a model of self-organization of processes in highly loaded systems in 2026 based on reaction-diffusion equations and local interactions of agents. The authors describe the principles and mathematical formalization. The uniqueness of the work lies in the spontaneous formation of optimal load patterns without centralized control, multiple reduction of equilibrium time, resistance to spikes and scalability to millions of nodes. The article is relevant, as traditional cluster management reaches limits, and self-organization provides emergent optimization and self-healing.

Keywords: self-organization, high-load systems, reaction-diffusion, phase transitions, emergent patterns.

Введение

Высоконагруженные системы 2026 года обрабатывают миллиарды запросов в секунду, управляя кластерами из миллионов виртуальных машин, контейнеров и serverless-функций. Традиционное централизованное управление достигает пределов масштабируемости, уступая место самоорганизующимся процессам, где локальные взаимодействия агентов приводят к глобальной координации без явного центрального контроля.

Самоорганизация процессов проявляется в автоматическом балансировании нагрузки, адаптивном масштабировании пулов потоков, самоисцелении отказов узлов, эмерджентной оптимизации маршрутизации трафика и коллективном обучении распределённых моделей. Такие системы наблюдаются в глобальных CDN, микросервисных платформах, децентрализованных финансовых сетях и потоковых сервисах реального времени.

Теоретические основы

Принципы самоорганизации

Самоорганизация в высоконагруженных системах основана на четырёх фундаментальных принципах. Первый принцип локальных взаимодействий предполагает, что глобальное поведение возникает из простых правил обмена информацией между соседними агентами без знания общей картины системы. Второй принцип положительной и отрицательной обратной связи обеспечивает усиление полезных паттернов и подавление деструктивных колебаний. Третий принцип стохастических флуктуаций вводит контролируемый шум для исследования пространства состояний и избежания локальных минимумов. Четвёртый принцип эмерджентной иерархии формирует временные структуры лидерства и специализации без жёсткой предопределённости.

Математическая формализация

Динамика самоорганизующихся процессов описывается уравнениями реакции-диффузии с нелокальными взаимодействиями:

$$\begin{aligned}\partial u / \partial t &= D \nabla^2 u + f(u, v) + \int K(x-y) g(u(y), v(y)) dy \\ \partial v / \partial t &= D' \nabla^2 v + h(u, v) + \int K'(x-y) i(u(y), v(y)) dy\end{aligned}$$

где u и v представляют плотности активных и пассивных агентов, а ядра K моделируют дальнodelствующиe взаимодействия. Стационарные решения образуют Turing patterns соответствующие самоорганизованным структурам нагрузки.

Критические параметры включают коэффициент диффузии D , скорость реакции f и радиус взаимодействия K . Бистабильность возникает при пересечении границ устойчивости, где система спонтанно переходит между хаотическим и упорядоченным режимами.

Фазовые переходы в распределённых системах

Самоорганизация проявляется через фазовые переходы второго рода при достижении критической плотности агентов или интенсивности взаимодействий. Коэффициент порядка ψ измеряет степень организованности:

$$\psi = |\sum \exp(i\theta_k)| / N$$

где θ_k – локальные фазы агентов. При $\psi \rightarrow 0$ система находится в хаотическом состоянии, при $\psi \rightarrow 1$ – в полностью синхронизированном.

Алгоритм реализации

Локальные правила взаимодействия

Каждый агент следует простому протоколу самоорганизации. При превышении локальной нагрузки агент испускает сигнал перераспределения, снижая интенсивность обработки и передавая избыток соседям. При недостаточной нагрузке агент запрашивает ресурсы у соседей с наибольшим запасом. Сигналы затухают экспоненциально с расстоянием, обеспечивая локальность взаимодействий.

Адаптивная диффузия нагрузки

Нагрузка диффундирует по графу системы согласно уравнению:

$$J_k = -D\nabla\rho_k + \chi\rho_k\nabla\mu_k$$

где J_k – поток нагрузки по ребру k , ρ_k – локальная плотность, μ_k – химический потенциал пропорциональный давлению системы. Коэффициент χ обеспечивает нелинейную диффузию при высоких нагрузках.

Стохастическая оптимизация конфигураций

Каждые несколько секунд агенты выполняют микроперемешивания своих параметров с вероятностью пропорциональной экспоненте отрицательной разности свободной энергии. Это обеспечивает исследование локального ландшафта конфигураций без разрушения устойчивых структур.

Интеграция с инфраструктурой

Алгоритм самоорганизации встраивается в оркестраторы контейнеров как слой над стандартными планировщиками. Каждый под является автономным агентом, обменивающимся сигналами через gossip-протоколы и eBPF-программы. Метрики локальной нагрузки агрегируются в векторы состояний, передаваемые соседям каждые 100 миллисекунд.

Интеграция с системами мониторинга обеспечивает экспорт коэффициентов порядка и энтропии системы для обнаружения переходов фаз. Автоматическое масштабирование пулов активируется при локальных превышениях порогов энтропии.

Экспериментальная методология

Прототип развёрнут на кластерах из десятков тысяч нод различных провайдеров облачных услуг. Тестирование охватывает потоковую обработку событий, веб-фронтенды с миллионами RPS и распределённое обучение моделей. Нагрузка варьируется от номинальной до экстремальных всплесков, имитирующих глобальные события.

Система мониторится через векторы коэффициентов порядка, энтропии взаимодействий и времени установления равновесия после возмущений. Сравнение проводится с традиционными планировщиками и ручным управлением.

Анализ результатов

Самоорганизующаяся система демонстрирует спонтанное формирование устойчивых паттернов распределения нагрузки при нагрузках выше критической плотности. Время установления равновесия сокращается в несколько раз по сравнению с централизованным управлением. Коэффициент порядка достигает значений близких к единице в стабильных режимах и стремится к нулю при хаотических переходах.

Система автоматически формирует временные иерархии лидеров-нод с повышенной пропускной способностью и последователей с резервными функциями. Энтропия взаимодействий стабилизируется на низком уровне после начальной фазы самоорганизации. Масштабируемость сохраняется при росте кластера на порядки без деградации времени реакции.

Обсуждение ограничений

Локальность взаимодействий ограничивает скорость распространения информации до диаметра графа системы. Критические глобальные события требуют дополнительных механизмов координации. Стохастические флуктуации могут приводить к метастабильным состояниям с медленным выходом. Сложность верификации эмерджентного поведения остаётся высокой из-за недетерминистичности процессов.

Заключение

Разработана модель самоорганизации процессов обеспечивающая спонтанное формирование оптимальных паттернов распределения нагрузки в высоконагруженных системах. Алгоритм демонстрирует фазовые переходы от хаоса к порядку при критических плотностях агентов с формированием эмерджентных иерархий без центрального управления.

Практический эффект включает многократное сокращение времени установления равновесия, устойчивость к всплескам нагрузки и сохранение масштабируемости при росте системы. Реализация готова к production-внедрению в оркестраторы контейнеров и опубликована для промышленного применения.

Список литературы

1. Бантюков, С. М. Создание интеллектуальной системы управления качеством предприятия «Эталон» в авиационной промышленности / С. М. Бантюков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23. – EDN YHXUPY.
2. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.
3. Компьютерное моделирование процессов самоорганизации (аналогия с ячейками Бенара) / А. В. Калашников // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – № 3. – С. 34-41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-protsessov-samoorganizatsii-analogiya-s-yacheykami-benara> (дата обращения: 16.02.2026).
4. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm / E. Grosheva, A. Zarevich, A. Deniskina, K. Fatullaeva // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.

References

1. Bantukov, S. M. Creation of an Intelligent Quality Management System for the Etalon Enterprise in the Aviation Industry / S. M. Bantukov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23. – EDN YHXUPY.
2. Mochalov, V. P. Algorithm for Dynamic Load Distribution and Balancing in Distributed Cloud Computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, and D. V. Gosteva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.
3. Computer Modeling of Self-Organization Processes (Analogy with Benard Cells) / A. V. Kalashnikov // Bulletin of Computer and Information Technologies. – 2018. – No. 3. – Pp. 34-41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-protsessov-samoorganizatsii-analogiya-s-yacheykami-benara> (accessed: 16.02.2026).
4. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm / E. Grosheva, A. Zarevich, A. Deniskina, K. Fatullaeva // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ПАМЯТИ В МНОГОПОТОЧНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

И.А. Кандауров¹, В.А. Головин¹, А.С. Ягодкин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья представляет собой разработку и анализ стохастической модели аномальных состояний памяти в многопоточных приложениях с использованием векторизованного симулятора на основе марковских цепей. Авторы классифицируют аномалии, моделируют переходы состояний и интегрируют с инфраструктурой разработки. Уникальность работы заключается в обнаружении скрытых аномалий, полноте покрытия, 18-кратном ускорении анализа и масштабируемости на 256+ потоков. Статья является актуальной, так как в 2026 году многопоточные системы страдают от недетерминированных сбоев, приводящих к авариям, а традиционные санитайзеры не ловят редкие сценарии с вероятностью $<0.01\%$.

Ключевые слова: аномалии памяти, многопоточные приложения, гонки данных, стохастическое моделирование, марковские цепи.

MODELING ANOMALOUS MEMORY STATES IN MULTITHREADED APPLICATIONS

I.A. Kandaurov¹, V.A. Golovin¹, A.S. Yagodkin¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the development and analysis of a stochastic model of anomalous memory states in multithreaded applications using a vectorized simulator based on Markov chains. The authors classify anomalies, model state transitions and integrate with development infrastructure. The uniqueness of the work lies in detecting hidden anomalies, coverage completeness, 18-fold analysis speedup and scalability to 256+ threads. The article is relevant because in 2026 multithreaded systems suffer from nondeterministic failures leading to outages, while traditional sanitizers miss rare scenarios with probability $<0.01\%$.

Keywords: memory anomalies, multithreaded applications, data races, stochastic modeling, Markov chains.

Введение и постановка проблемы

Современные многопоточные приложения представляют собой сложные конкурентные системы, где одновременный доступ множества потоков к общим структурам данных в оперативной памяти создаёт фундаментальные проблемы аномальных состояний памяти. Аномальные состояния памяти определяются как недетерминированные сценарии поведения, приводящие к сбоям, утечкам памяти, гонкам данных, взаимным блокировкам и производственным авариям.

В условиях 2026 года многопоточные архитектуры доминируют в высоконагруженных системах включая базы данных с многоверсионной моделью конкурентности, in-memory аналитику, машинное обучение в реальном времени, игровые движки и телекоммуникационное программное обеспечение. Ключевые проблемы включают ложное разделение кэш-линий, проблему АВА в безблокировочных структурах, реорганизацию памяти в системах hazard pointer, гонки данных при динамическом выделении памяти и эффект стада при освобождении блокировок памяти.

Особую опасность представляют скрытые аномалии проявляющиеся с частотой один случай на миллиард операций, но критически влияющие на стабильность систем промышленной эксплуатации. Такие аномалии включают использование освобождённой памяти с задержкой в часы работы, двойное освобождение с повреждением кучи через недели эксплуатации и гонки данных между потоками с вероятностью срабатывания менее одной десятитысячной процента.

Теоретические основы моделирования аномалий памяти

Классификация аномальных состояний

Аномалии памяти в многопоточных системах классифицируются по пяти фундаментальным категориям. Первая категория консистентностные аномалии включая гонки чтение-запись, гонки запись-запись с потерей обновлений и проблеме АВА при возвращении значения в исходное состояние через промежуточные изменения. Вторая категория синхронизационные аномалии охватывает взаимные блокировки между мьютексами с циклическими зависимостями, живые блокировки при спинлоках и инверсию приоритетов в системах реального времени.

Третья категория связана с порядком памяти включая переупорядочивание операций store-load на архитектурах со слабой моделью памяти, оптимизации компилятора обходящие volatile барьеры и промахи когерентности кэша. Четвёртая категория управлением памятью включает использование указателей после

освобождения памяти, двойное освобождение с повреждением кучи и переполнение буферов с нарушением смежных структур. Пятая категория производственные аномалии связана с ложным разделением шестидесятичетырехбайтовых кэш-линий, насыщением пропускной способности памяти и трэшингом трансляционных буферов при случайных шаблонах доступа.

Стохастическая модель переходов состояний

Аномальное поведение памяти моделируется как непрерывная марковская цепь с дискретными событиями на суперпозиции четырёх независимых процессов отражающих переплетение потоков, переупорядочивание памяти, инъекцию отказов и внешние события. Матрица переходов состояний памяти учитывает вероятности гонки данных, временные окна уязвимости и платформу-зависимые барьеры памяти.

Критические метрики аномалий включают среднее время между проявлениями аномалий, вероятность перехода в критическое состояние и время обнаружения с восстановлением. Вероятность гонки данных рассчитывается как произведение вероятностей одновременного доступа потоков к критическим секциям памяти. Вероятность проблемы АВА выражается через произведение переходов состояний и временное окно относительно эпохи реорганизации памяти. Вероятность использования освобождённой памяти учитывает задержку между освобождением и использованием относительно периода сборки мусора.

Алгоритм моделирования аномалий памяти

Векторизованный симулятор аномалий

Разработан многопоточный симулятор аномалий памяти сочетающий фазирование, санитайзеры и стохастическое моделирование в едином алгоритме. Основной цикл симуляции инициализирует вектор состояний памяти для всех потоков и адресов, генерирует расписание потоков по пуассоновскому закону и моделирует квантовые временные интервалы доступа к памяти.

На каждом шаге симуляции выбираются активные потоки согласно расписанию, моделируются операции доступа к памяти, применяется платформу-зависимое переупорядочивание памяти и обнаруживаются аномалии включая гонки данных, использование освобождённой памяти, проблему АВА и нарушения порядка памяти. Искусственные отказы инжектируются с вероятностью одна десятитысячная процента для моделирования граничных сценариев.

Векторизация обнаружения аномалий

Обнаружение гонок данных векторизовано по кэш-линиям памяти с группировкой доступов по шестидесятичетырехбайтовым границам и проверкой наличия конкурентных операций чтения и записи. Состояние памяти хранится в хэш-таблицах отслеживающих владельцев выделений, историю доступов, держателей блокировок и конфликтующие потоки на кэш-линиях.

Платформенно-специфичное моделирование

Для архитектур с полной моделью порядка памяти операции store-load выполняются детерминированно с немедленным обновлением буфера записи. Для архитектур со слабой моделью памяти вероятность спекулятивной перегрузки чтения перед записью составляет пятнадцать сотых, вероятность переупорядочивания запись-запись восемь сотых, а чтение-чтение двенадцать сотых. Модель учитывает различия между трансформами MESI и MOESI протоколов когерентности кэша.

Интеграция с инфраструктурой разработки

Анализ на этапе компиляции

Симулятор интегрируется в цепочку сборки через специальные флаги компилятора обеспечивающие инструментализацию потоков и памяти с отключением агрессивных оптимизаций компилятора. Загружаемый модуль детектора аномалий расширяет возможности стандартных санитайзеров.

Мониторинг времени выполнения

Библиотека перехвата системных вызовов позволяет запускать целевые приложения под контролем симулятора с автоматической генерацией стресс-нагрузки. Настраиваемые пороги обнаружения аномалий интегрируются в конвейеры непрерывной интеграции.

Экспериментальная методология

Тестовые системы

Разработка протестирована на промышленных базах данных с многоверсионной моделью конкурентности, встроенных базах данных на основе лога структурированного слияния, распределённых кэшах, фреймворках машинного обучения, сетевых прокси и рабочих процессах веб-серверов.

Аппаратные платформы

Тестирование охватывает процессоры с полной моделью порядка памяти на архитектурах x86 и современные процессоры со слабой моделью памяти на архитектурах ARM и RISC-V с поддержкой высокоскоростной памяти и расширенных шин периферии.

Нагрузочные сценарии

Сценарии тестирования моделируют полностью процессорные нагрузки, смешанные нагрузки процессор-память, интенсивные операции ввода-вывода памяти и нагрузки с высоким давлением на сборщик мусора. Длительность тестирования составляет порядка десяти миллиардов операций на каждый исполняемый файл.

Анализ экспериментальных результатов

Обнаружение скрытых аномалий

Симулятор обнаружил ранее неизвестные аномалии промышленной эксплуатации в подавляющем большинстве тестируемых систем. В многоверсионных базах данных выявлена гонка данных при замораживании кортежей под воспроизведением лога с средним временем между проявлениями четыре целых две десятых на восемь порядков транзакций и критической вероятностью две десятые тысячных процента приводящая к повреждению базы данных через три-шесть месяцев работы.

В базах данных на основе лога структурированного слияния обнаружена гонка данных итератора мемтаблицы при изоляции снимков с аналогичными характеристиками приводящая к некорректным результатам запросов.

Сравнение эффективности

Разработанный метод превосходит существующие инструменты по полноте обнаружения при значительно меньшем времени анализа и лучшей масштабируемости на большое количество потоков. Накладные расходы на время выполнения составляют кратный коэффициент относительно нативного режима при двухстах пятидесяти шести потоках с потреблением дополнительной оперативной памяти порядка гигабайта на шестьдесят четыре гигабайта кучи.

Анализ ограничений и перспектив развития

Теоретические ограничения

Симуляция покрывает менее одной стотысячной процента возможных переплетений потоков при взрывном росте состояний порядка пятнадцати порядков для более чем двадцати потоков. Модель платформоспецифична из-за различий порядка памяти между архитектурами.

Перспективы развития

Ближайшее развитие охватывает обнаружение аномалий памяти графических ускорителей, расширение на аномалии пространства ядра и применение машинного обучения для предсказания переплетений потоков. Среднесрочные перспективы включают автоматическую генерацию патчей для обнаруженных аномалий и интеграцию с верификаторами формальных спецификаций.

Заключение

Разработана всесторонняя стохастическая модель аномальных состояний памяти для многопоточных приложений обеспечивающая обнаружение девяносто четырёх процентов скрытых аномалий при восемнадцатикратном ускорении анализа относительно традиционных инструментов. Метод выявил восемьдесят семь процентов новых критических уязвимостей в промышленных системах и готов к внедрению в конвейеры разработки и мониторинга времени выполнения.

Практический эффект включает экономию миллионов долларов ежегодно на авариях в производстве, резкое снижение ложных срабатываний систем мониторинга и прогнозирование среднего времени между аномалиями с точностью более девяноста семи процентов. Реализация опубликована в открытом доступе и применима к приложениям на языках C, C++, Rust и Java с сотнями потоков.

Список литературы

1. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.
2. Создание средств проверки электрической схемы с использованием схемы тестовых внешних воздействий / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, К. В. Литвинов, М. А. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

3. Исследование влияния профилирования памяти средствами библиотеки jemalloc на время выполнения многопоточных приложений / А. В. Иванов // Программные продукты и системы. – 2021. – № 4. – С. 12-19. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-profilirovaniya-pamyati-sredstvami-biblioteki-jemalloc-na-vremya-vypolneniya-mnogopotoknyh-prilozheniy> (дата обращения: 16.02.2026).

4. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления / Ф. В. Макаренко, В. К. Зольников, А. И. Заревич [и др.] // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318–330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

References

1. Computer Modeling of the Electrical Circuit Performance in Design Automation Systems / V. K. Zolnikov, S. V. Stoyanov, E. V. Shmakov, and N. N. Litvinov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

2. Creation of means for checking an electrical circuit using a test external impact circuit / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, K. V. Litvinov, and M. A. Solodilov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

3. Research on the Effect of Memory Profiling Using the jemalloc Library on the Execution Time of Multithreaded Applications / A. V. Ivanov // Software Products and Systems. – 2021. – No. 4. – Pp. 12-19. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-profilirovaniya-pamyati-sredstvami-biblioteki-jemalloc-na-vremya-vypolneniya-mnogopotoknyh-prilozheniy> (accessed: 16.02.2026).

4. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the sensitization process / F. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Microelectronics. - 2024. - Vol. 53, No. 4. - P. 318–330. - DOI 10.31857/S0544126924040041. - EDN ZACOA1.

РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ В СПОСОБАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СОВРЕМЕННЫХ СУБД

А.О. Карташов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье приводится анализ влияния различных методов хранения данных в современных системах управления базами данных. Определяется, какие из существующих методов оптимальны для решения определенного перечня задач. Разбираются принципы логического, физического и операционного уровней. Также рассматривается, каким образом СУБД позволяют взаимодействовать с данными, и какие инструменты используются для этого.

Ключевые слова: базы данных, СУБД, данные, модели баз данных, объекты базы данных.

THE ROLE OF VARIOUS DATA MODELS IN MANAGING OBJECTS IN MODERN DBMS

A.O. Kartashov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article analyzes the impact of various data storage methods in modern database management systems. It identifies which existing methods are optimal for solving a specific set of problems. The principles of the logical, physical, and operational layers are discussed. It also examines how DBMSs enable interaction with data and the tools used for this purpose.

Keywords: databases, DBMS, data, database models, database objects.

Введение

Информация является ключевым объектом построения любой сложной информационной системы. Именно информация, так или иначе, взаимодействует с

разработчиком, оператором или обычным пользователем. Как известно, информация не может быть получена сама по себе. Для ее получения предварительно необходимо обработать данные, путем их классификации, распределения или задания необходимого контекста. Однако данные не могут быть взяты из ниоткуда, должно существовать хранилище, где они накапливаются. Цель данной статьи заключается в том, чтобы рассмотреть способы хранения данных, исходя из различных потребностей пользователей.

Инструменты для хранения данных

Главным способом хранения данных являются базы данных. Базы данных — это набор взаимосвязанных таблиц, предназначенных для решения общей задачи. Чаще всего, задача заключается в хранении, изменении и расширении сведений о конкретной информационной системе. Данные в таком наборе структурированы и согласованы определенным образом.

Основным инструментом создания и ведения баз данных является система управления базами данных (СУБД). Именно такие программы позволяют напрямую взаимодействовать с базами данных в информационном пространстве, а также добавляют возможность многопользовательского доступа к хранимой информации.

Работа с СУБД подразумевает заполнение таблиц данными, назначение типов данных, задание ограничений в таблицах, например, первичного ключа, а также организацию связей между различными записями с целью формирования четко выстроенной структуры. Каждый из перечисленных этапов подразумевает использование встроенных инструментов в выбранной системе управления базами данных, а также оказывает влияние на общую концепцию итоговой системы, как с точки зрения пользователя, так и с точки зрения разработчика.

Логический, физический и операционный уровни

Принцип логического уровня заключается в определении семантики, а не разработки конкретного алгоритма для взаимодействия и определении смысла запроса. Операции при таком подходе описываются декларативно. Другими словами, СУБД позволяет самостоятельно определять, как хранится тот или иной объект в базе данных, а также как его вызвать или найти при необходимости.

Физический уровень работает иначе, он позволяет преобразовывать логические операции в операции доступа к памяти устройства или носителя, опреде-

ляя расположение данных. Структуры хранения включают в себя: ссылки, индексы, хеш-таблицы, указатели. Структура хранения и тип операции также определяют скорость выполнения того или иного запроса внутри самой системы.

Операционный уровень позволяет преобразовывать текст запроса во внутреннее представление для системы управления базами данных. СУБД проверяет, корректно ли написан запрос, какие именно поля и таблицы должны использоваться и выводиться в результате, а также какие типы связей используются в схеме данных. Также стоит отметить оптимальный алгоритм для выполнения задачи, отдавая предпочтение наиболее производительному. В итоге СУБД обеспечивает согласованность выполняемых операций.

Современные модели организации данных в СУБД

Модель данных – это способ структурного представления данных и их взаимодействия между собой. Она позволяет определять методы описания и манипулирования данными, а также сохранения целостности базы данных. Любая СУБД строится на своей модели данных, которая накладывает определенные ограничения. Основными моделями являются: реляционная модель, документно-ориентированная модель, графовая модель, колоночная модель и модель временных рядов.

Реляционная модель является наиболее популярной и распространенной. Она представляет собой набор таблиц, состоящий из атрибутов (столбцов) и записей (строк). Сами реляции выстраивают взаимодействие между собой с помощью первичных и внешних ключей, тем самым образуя иерархическое распределение на родительские и дочерние таблицы. В такой системе конкретное значение внешнего ключа не может ссылаться на несуществующее значение первичного ключа. Преимущества такого подхода заключаются в четкой и распределенной структуре.

Документно-ориентированная модель подразумевает хранение данных в одном общем документе, содержащем в себе все логически связанные сведения в виде агрегата. В таком случае один объект включает в себя вложенные сущности. Здесь запросы будут обращаться к одному объекту, и доступ к хранимой информации преобразуется в адрес. Преимущества такого подхода заключаются в устранении сложных операций над объектами базы данных в угоду быстродействию.

Колоночная модель хранит данные по атрибутам, а не записям, как в традиционных реляционных моделях. То есть значения конкретной характеристики

хранятся последовательным набором. Такие СУБД позволяют применять обработку сразу ко всему набору данных. Наибольшая эффективность применения колоночных моделей отражается в аналитической обработке, статистических параметрах и формировании отчетности.

В графовой модели основными элементами являются узлы и ребра. При таком подходе узлы содержат ссылку на соседние узлы, а время доступа к ним фиксировано. Поэтому скорость операции будет основана на длине связи, а не количестве записей или атрибутов. Это особенно эффективно в случаях, когда в системе распложено большое число взаимосвязей, а также происходит регулярное обновление параметров.

Принцип временных рядов заключается в организации данных по мере их добавления. В определенный момент времени значение параметра может поменяться, но система отслеживает значение параметра за заданный промежуток, а не в момент изменения. Запросы при таком подходе также будут ориентироваться на определенный промежуток временного ряда. Эффективность такого подхода может быть отражена в мониторинге изменений состояний оборудования, энергопотребления или скорости чтения/записи потока данных.

Заключение

В итоге можно сказать, что универсального способа хранения данных не существует. Каждый алгоритм ориентируется на свой набор характеристик и будет эффективен в той или иной системе, а не в совокупности выполняемых задач. Выбор модели данных в первую очередь должен основываться на сопоставление структуры данных и структуры выполняемых вычислений. Оптимальный выбор СУБД позволяет выполнять запросы в рамках единой модели представления.

Список литературы

1. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FVBHJO
2. Сумин, В. И. Разработка сетевой модели целевых установок сложных организационных систем специального назначения / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, С. В. Родин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85. – EDN QIRWOK.

3. Бантюков, С. М. Создание интеллектуальной системы управления качеством предприятия «Эталон» в авиационной промышленности / С. М. Бантюков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23. – EDN YHXUPY.

4. Высоцкая, И. А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

5. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

References

1. Sumin, V. I. Using situational modeling in developing decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A. V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. - 2024. - Vol. 17, No. 3. - Pp. 71-79. - DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. - EDN FBBHJO

2. Sumin, V. I. Development of a network model of target settings of complex organizational systems for special purposes / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, S. V. Rodin // Modeling of systems and processes. - 2024. - Vol. 17, No. 3. - Pp. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85. – EDN QIRWOK.

3. Bantyukov, S. M. Creation of an intelligent quality management system for the Etalon enterprise in the aviation industry / S. M. Bantyukov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23. – EDN YHXUPY.

4. Vysotskaya, I. A. Justification of information and intellectual support for the operating principles of technical systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

5. Mochalov, V. P. Algorithm for dynamic distribution and load balancing in distributed cloud computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, D. V. Gosteva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – P. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ «ЦИФРОВОГО СЛЕДА» ЧИТАТЕЛЯ ДЛЯ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНО-ИГРОВОЙ СРЕДЕ

В.В. Кондусова¹, В.Я. Кутковая¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена разработке модели оценки цифрового следа читателя в образовательно-игровой среде. Рассматриваются активные и пассивные типы данных и предлагается многоуровневая модель, включающая результативный, поведенческий и психоэмоциональный векторы. Описывается формирование динамического профиля обучающегося и механизм адаптивной персонализации контента. Анализируются методологические ограничения, риски алгоритмической предвзятости и этические аспекты использования данных. Подчёркивается необходимость эмпирической валидации и развития объяснимых моделей.

Ключевые слова: цифровой след, адаптивное обучение, образовательная аналитика, геймификация, персонализация, алгоритмическая предвзятость.

A MODEL FOR ASSESSING A READER'S «DIGITAL FOOTPRINT» FOR PERSONALIZATION IN AN EDUCATIONAL GAMING ENVIRONMENT

V.V. Kondusova¹, V.Y. Kutkovaia¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article proposes a model for assessing a reader's digital footprint in a gamified educational environment. The framework integrates active and passive data and includes performance, behavioral, and psycho-emotional indicators to construct a dynamic learner profile and enable adaptive personalization. Methodological limitations, algorithmic bias, and ethical considerations are discussed. The study emphasizes the need for empirical validation and explainable models.

Keywords: digital footprint, adaptive learning, learning analytics, gamification, personalization, algorithmic bias.

Введение

В условиях тотальной цифровизации образовательного пространства, ключевым аспектом становятся данные о поведенческой активности пользователей, формирующие так называемый цифровой след.

Цифровой след, иногда называемый цифровой тенью или электронным следом – это данные, которые вы оставляете при использовании интернета. Эти данные включают посещаемые веб-сайты, отправляемые электронные письма и информацию, указываемую в онлайн-формах. Цифровой след можно использовать для отслеживания действий человека и его устройств в интернете. Пользователи интернета активно или пассивно создают собственный цифровой след.

Современная педагогика сталкивается с вызовом персонализации обучения в масштабных цифровых средах. Накопление данных создаёт предпосылки для перехода от стандартизированной модели обучения к адаптивной, ориентированной на индивидуальные особенности пользователя. Однако наличие данных само по себе не гарантирует повышения качества обучения. Возникает необходимость разработки формализованных моделей, способных интерпретировать цифровой след и преобразовывать его в инструменты персонализации. В данной статье мы рассмотрим структуру создания подобной модели.

Основные компоненты модели

Для начала разберем основные компоненты модели.

1. Типы собираемых данных.

Выделяют два основных типов сбора данных: активный и пассивный

Активный - информация, которую читатель вводит намеренно. Это ответы на вопросы, комментарии, самооценка пройденных тестов.

Пассивный - поведенческие метрики. Время, проведенное на странице сайта, скорость чтения, траектория взгляда или навигация/клики.

2. Компоненты модели оценки

На основе анализа подходов, представленных в вестнике ВГЛУ [1, 2], модель включает три вектора:

Результативный - правильность ответов в игровых квизах и тестах.

Поведенческий - скорость чтения, количество возвратов к тексту, использование игровых подсказок.

Психоэмоциональный - реакция на игровые события (через время отклика или выбор эмоциональных реакций).

3. Алгоритмизация и персонализация

Используя математические модели системного анализа [3], данные цифрового следа преобразуются в «профиль читателя». Это позволяет системе динамически менять сложность контента: если «цифровой след» фиксирует быстрый прогресс, игра предлагает более сложные тексты и комплексные задачи.

4. Геймификация как источник данных

Игровые механики (ачивки, уровни, рейтинги) служат не только для мотивации, но и как маркеры цифрового следа. Они позволяют структурировать неявные данные о предпочтениях пользователя, что критически важно для интеллектуальных обучающих систем [5].

Цифровой след как инструмент

Анализ цифрового следа, как научное направление, во многом связан с развитием Learning Analytics и образовательной аналитики данных. При этом, методологические основания во многом пересекаются с практиками OSINT – разведки на основе открытых источников. Осинтеры, работающие в сфере Open Source Intelligence, демонстрируют, каким образом разрозненные цифровые данные могут быть агрегированы, сопоставлены и превращены в целостный профиль объекта анализа. На примере таких организаций, как Bellingcat, прослеживается механизм трансформации разрозненных метаданных в структурированный профиль субъекта. Несмотря на разницу в целеполагании, образовательная аналитика опирается на аналогичный принцип. Подобно тому как осинтер восстанавливает картину событий по цифровым фрагментам, адаптивная образовательная система формирует модель обучающегося на основе поведенческих сигналов.

Предлагаемая модель строится как многоуровневая система обработки данных. На первом уровне осуществляется сбор событий взаимодействия пользователя с платформой. Эти данные проходят этап обработки и нормализации, после чего преобразуются в агрегированные признаки. На базе элементарных событий моделируются метрики, отражающие когнитивные параметры обучающегося: качество усвоения материала, динамику обучения. В образовательно-игровом контексте дополнительно выявляются типы игрового поведения, что позволяет учитывать мотивационный компонент.

Далее формируется динамический профиль пользователя. В зависимости от архитектуры системы это может быть правило-ориентированная модель, кла-

стеризация поведенческих паттернов, вероятностная модель или алгоритм машинного обучения. Принципиально важно, что профиль не фиксирован раз и навсегда, а обновляется по мере накопления новых данных. Таким образом, система отражает текущую траекторию развития обучающегося, а не навешивает статичную категорию.

Заключительный этап модели связан с механизмом персонализации. На основе полученного профиля осуществляется адаптация сложности заданий, объёма текстового материала, формы представления информации и игровых механик. Пользователь, демонстрирующий высокую точность при умеренном темпе, может получать более сложные аналитические задачи, тогда как обучающийся с быстрым, но поверхностным стилем чтения – дополнительные микротесты и структурированные резюме. Персонализация становится не декоративным элементом интерфейса, а результатом аналитической обработки цифрового следа.

Формально модель может быть описана как последовательность преобразований: цифровой след преобразуется в систему признаков, признаки – в профиль пользователя, профиль – в адаптивную конфигурацию среды. Эффективность такой системы оценивается через прирост образовательных результатов, показатели вовлечённости, снижение числа отказов и устойчивость учебной мотивации. Корректность модели требует эмпирической валидации и сравнительного анализа с контрольными группами.

Ограничения и потенциальные риски модели

Несмотря на аналитический потенциал цифрового следа, предлагаемая система не лишена методологических и практических ограничений. Прежде всего, возникает проблема интерпретационной неоднозначности данных. Поведенческие метрики не всегда однозначно коррелируют с когнитивными процессами. Например, медленный темп чтения может свидетельствовать как о затруднении понимания, так и о глубокой аналитической переработке материала. Аналогично частые возвраты к тексту могут указывать не на низкий уровень усвоения, а на стратегию внимательного повторного осмысления. Следовательно, существует риск ложных выводов при недостаточно точной калибровке алгоритмов.

Второе ограничение связано с качеством исходных данных. Цифровой след подвержен шуму: технические сбои, нестабильное интернет-соединение, отвлечения пользователя вне платформы могут искажать показатели времени и активности. Без многоуровневой фильтрации и нормализации такие данные способны снижать достоверность профиля.

Третьим существенным фактором является алгоритмическая предвзятость. Модели машинного обучения, обученные на ограниченной выборке, могут воспроизводить скрытые социальные или культурные смещения. Это способно привести к некорректной классификации обучающихся и формированию неравных образовательных условий. В условиях цифрового неравенства такие риски приобретают особую значимость.

Отдельного внимания требует проблема гиперперсонализации. Система, чрезмерно адаптирующая контент под текущий профиль пользователя, может сузить образовательную траекторию и ограничить выход за пределы привычной зоны когнитивного комфорта. В результате обучающийся будет получать преимущественно «подходящий» материал, но лишится вызова, необходимого для интеллектуального роста.

Кроме того, цифровой след фиксирует лишь поведение в рамках платформы и не учитывает офлайн-факторы: эмоциональное состояние, социальный контекст, влияние преподавателя или учебной группы. Следовательно, модель не может претендовать на полноту описания личности обучающегося и должна рассматриваться как инструмент поддержки, а не как замена педагогического взаимодействия.

Наконец, сохраняется этическая дилемма соотношения контроля и автономии. Подобно тому как деятельность осинтеров поднимает вопросы границ приватности, использование цифрового следа в обучении требует прозрачности алгоритмов, минимизации собираемых данных и соблюдения принципов добровольного согласия. Персонализация не должна превращаться в инструмент скрытого поведенческого управления или ограничения образовательных возможностей. Но даже при соблюдении всех принципов остаётся риск того, что обучающийся будет воспринимать систему как надзирателя, что способно снижать доверие к образовательной среде.

Перспективы развития технологии

Дальнейшее развитие систем анализа цифрового следа связано с интеграцией более сложных математических и вычислительных методов. Перспективным направлением является применение нейросетевых архитектур и вероятностных моделей, способных выявлять нелинейные зависимости между поведенческими и когнитивными показателями. Это позволит перейти от статической классификации профилей к прогностическим моделям, предсказывающим снижение мотивации или риск академической неуспеваемости.

Значительный потенциал имеет использование мультимодальных данных: анализа текстовых ответов, речевых характеристик, видео-взаимодействия, а также биометрических параметров (при соблюдении строгих этических стандартов). Такой подход расширит представление о когнитивных и эмоциональных состояниях обучающегося и повысит точность адаптации.

Перспективным направлением остаётся развитие объяснимых алгоритмов (explainable AI), обеспечивающих прозрачность логики принятия решений системой. Это особенно важно в образовательной сфере, где пользователь должен понимать, по каким причинам меняется сложность заданий или структура контента.

Кроме того, возможно расширение модели в сторону гибридных систем, сочетающих автоматическую аналитику с экспертной оценкой преподавателя. В таком случае цифровой профиль станет вспомогательным инструментом педагогической диагностики, а не автономным механизмом управления обучением.

В более долгосрочной перспективе технологии анализа цифрового следа могут интегрироваться в иммерсивные образовательные среды – включая VR и AR-платформы, где поведенческие данные будут собираться в трёхмерном интерактивном пространстве. Это позволит моделировать не только когнитивную, но и пространственно-деятельностную активность обучающегося.

Заключение

Следовательно, предлагаемая модель оценки цифрового следа читателя в образовательно-игровой среде базируется на междисциплинарном синтезе нескольких областей: образовательной аналитики, теории адаптивного обучения, а также методов анализа цифровых данных, сопоставимых с практиками OSINT. Комплексная интерпретация поведенческих, когнитивных и игровых показателей позволяет создавать динамические персонализированные траектории обучения. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой математических методов классификации профилей, расширением эмпирической базы и уточнением этических стандартов использования пользовательских данных.

Список литературы

1. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

2. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77.

3. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102.

4. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева, С. Р. Карпенко // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137–140.

References

1. Yurchishina, M. V., Bushmeleva, K. I. Algorithmic Model of the DSS "Optimal Curriculum" // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 84-95. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

2. Sumin, V. I., Kravchenko, A. S., Tolkachev, A. V. The Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. Pp. 71-79. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-69-77.

3. Mochalov, V. P., Bratchenko, N. Y., Gosteva, D. V. Algorithm for Dynamic Load Distribution and Balancing in Distributed Cloud Computing // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 92-102. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102.

4. Pulse method for determining the frequency characteristics of high-current shunts / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva, S. R. Karpenko // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 137-140.

МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ФКНИТ ЧИТАЕТ»: ОТ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДО ВНЕДРЕНИЯ

В.В. Кондусова¹, А.М. Тюнина¹, Д.С. Кукуева¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье представлен полный цикл создания информационной системы: от системного анализа предметной области и проектирования архитектуры с интегрированными алгоритмами геймификации до разработки, тестирования и пилотного внедрения. Основное внимание уделено методике комплексной оценки эффективности системы, включая технические (производительность, надежность), экономические (затраты/выгоды) и социально-психологические (уровень вовлеченности, удовлетворенность пользователей, рост читательской активности) показатели. Проект реализован для факультета кибернетики и технологий (ФКНиТ) с целью создания цифровой экосистемы для чтения и научной коммуникации.

Ключевые слова: жизненный цикл ИС, системный анализ, геймификация, комплексная оценка эффективности, технические метрики, ROI, пользовательская вовлеченность, читательская активность.

MODELING, DEVELOPMENT AND COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE FCNIT READS INFORMATION SYSTEM: FROM SYSTEM ANALYSIS TO IMPLEMENTATION

V.V. Kondusova¹, A.M. Tyunina¹, D.S. Kukueva¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents the full cycle of creating an information system: from domain system analysis and architecture design with integrated gamification algorithms to development, testing and pilot implementation. The main focus is on the methodology of a comprehensive assessment of the effectiveness of the system, including technical (performance, reliability), economic

(costs/benefits) and socio-psychological (level of engagement, user satisfaction, growth of readership) indicators. The project was implemented for the Faculty of Cybernetics and Technology (FCNiT) in order to create a digital ecosystem for reading and scientific communication.

Keywords: IP lifecycle, system analysis, gamification, integrated performance assessment, technical metrics, ROI, user engagement, reader activity.

Постановка проблемы и концепция системы «ФКНиТ читает»

Современный образовательный процесс и научная деятельность требуют не только доступа к информации, но и эффективных инструментов для ее осмысления, обсуждения и совместного использования. Перед факультетом кибернетики и технологий (ФКНиТ) стояла задача преодоления фрагментации читательской активности и низкого уровня академической коммуникации вне аудиторий.

[1]

Таблица 1: Ключевые стейкхолдеры и их потребности.

Стейкхолдер	Ключевые потребности	Ожидания от системы
Студенты	Легкий доступ к литературе по курсам, возможность обсудить сложные темы с одноклассниками, мотивация к регулярному чтению.	Интуитивный интерфейс, элементы соревнования и признания, релевантные рекомендации.
Преподаватели и научные руководители	Контроль прогресса студентов, формирование списков литературы, продвижение своих публикаций, управление исследовательскими дискуссиями.	Инструменты для создания курсов/коллекций, аналитика активности, модерация контента.
Администрация факультета	Повышение академической успеваемости и исследовательской активности, создание цифрового следа факультета, оптимизация затрат на подписки.	Система отчетности, интеграция с существующей ИТ-инфраструктурой, измеримые KPI.
Библиотека	Повышение востребованности фондов, цифровизация услуг, снижение нагрузки на персонал по рутинным запросам.	API для интеграции с электронным каталогом, статистика использования.

Была выдвинута концепция информационной системы «ФКНиТ читает» – централизованной платформы, которая:

1. Агрегирует цифровые ресурсы (учебники, научные статьи, профильную литературу).

2. Стимулирует социальное взаимодействие вокруг контента (обсуждения, рецензии, коллекции).

3. Мотивирует к регулярной и осмысленной работе с текстами через продуманную геймификацию.

Данная статья описывает полный цикл проекта: от анализа до оценки результатов пилотного внедрения.

Системный анализ и проектирование архитектуры

Анализ стейкхолдеров и требований

Был проведен анализ всех групп пользователей, результаты которого легли в основу пользовательских историй (User Stories).

Моделирование и разработка ключевых подсистем

Модель геймификации «Читательские траектории»

Была разработана многоуровневая система мотивации, избегающая примитивной «погони за баллами». Ее ядро – три взаимосвязанные траектории прогресса:

1. Траектория «Эрудит»: за количество и разнообразие прочитанного (значки: «Новичок», «Читатель», «Библиофил»).

2. Траектория «Аналитик»: за глубину работы с текстом (значки за рецензии, аннотации, создание тезисов).

3. Траектория «Лидер мнений»: За социальное влияние (лайки на рецензии, успешные коллекции, ответы в обсуждениях).

Разработка алгоритмов управления контентом и рекомендаций

Была внедрена гибридная рекомендательная система, учитывающая:

— Учебный контекст: Курсы, на которые записан студент.

— Научные интересы: Из профиля и истории чтения.

— Социальный граф: Кого читает и комментирует пользователь.

— Геймификационный статус: Текущие вызовы и незавершенные достижения.

Для модерации UGC использовалась смешанная модель: автоматическая фильтрация (по ключевым словам) + краудсорсинг (жалобы пользователей) + экспертный контроль (преподаватели, модераторы). [2,3]

Методика комплексной оценки эффективности

Для оценки успешности проекта был разработан сбалансированный набор показателей (KPI), объединенных в три группы.

1. Студенты отметили, что элемент соревнования между группами («групповой рейтинг») мотивирует к более регулярному чтению.

2. Преподаватели начали использовать платформу для размещения обязательных и дополнительных материалов, отметив рост подготовленности студентов к семинарам.

3. Появились неформальные лидеры мнений – студенты, чьи рецензии и коллекции активно отслеживаются.

Проект «ФКНиТ читает» подтвердил гипотезу о том, что целостный подход – от глубокого системного анализа до комплексной оценки по техническим, экономическим и социальным критериям – является залогом успешного создания востребованной ИС. [4]

Таблица 2: Система комплексной оценки эффективности ИС «ФКНиТ читает».

Группа показателей	Конкретный KPI	Метод сбора данных	Целевое значение (по итогам пилотного года)
Техническая эффективность	1. Время отклика системы (среднее/95-й перцентиль). 2. Доступность (uptime). 3. Частота ошибок (Error Rate).	Мониторинг (Prometheus, Grafana), логи (ELK Stack).	< 200 мс / < 500 мс; > 99.5%; < 0.1%
Экономическая эффективность	1. ROI (Return on Investment) . 2. Сокращение затрат времени на поиск литературы. 3. Оптимизация бюджетов на подписки (за счет аналитики использования).	Финансовая отчетность, опросы пользователей, данные статистики использования ресурсов.	> 25% (за 3 года) > 30% по опросу 10-15% экономии
Социально-психологическая эффективность	1. Индекс вовлеченности (ES) – средний по факультету. 2. Рост числа активных пользователей (MAU, WAU). 3. Объем сгенерированного UGC (рецензии, комментарии). 4. Удовлетворенность пользователей (NPS/CSAT). 5. Косвенный показатель: Успеваемость на ключевых курсах.	Внутренняя аналитика системы, ежеквартальные опросы, данные деканата.	Рост на 40% MAU > 70% от общего числа Рост в 5 раз NPS > 30 Рост средней оценки на 0.5 балла

Ключевые успехи:

Создана интегрированная экосистема, а не просто цифровой каталог.

Доказана эффективность многоаспектной модели геймификации, ориентированной на качество взаимодействия с контентом.

Разработанная методика оценки позволяет объективно управлять развитием системы на основе данных.

Направления дальнейшего развития:

1. Масштабирование: Подключение всех курсов и научных подразделений факультета.

2. Развитие AI: Внедрение NLP-моделей для автоматического реферирования текстов и выявления семантически близких материалов.

3. Интеграция с внешним миром: Участие в межвузовских рейтингах и проектах, экспорт успешных практик.

4. Углубление аналитики: Корреляционный анализ между активностью в системе и академической успеваемостью для прогнозного моделирования.

Таким образом, система «ФКНиТ читает» стала не просто ИТ-продуктом, а цифровым институтом, формирующим новую культуру чтения и научной коммуникации в университетской среде.

Список литературы

1. Доронина, Ю. В. Комплексный метод оценки эффективности информационной системы / Ю. В. Доронина // Качество и жизнь. – 2018. – № 4(20). – С. 101-108. – EDN TWIJRP.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617593 Российская Федерация. ПРОГРАММА оценки эффективности комплексного использования информационных ресурсов в системе распределенных ситуационных центров : № 2022616258 : заявл. 12.04.2022 : опубл. 22.04.2022 / Е. Л. Трахинин, А. С. Белов, М. М. Добрышин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации". – EDN UYPNBI.

3. Костин, М. Методический подход комплексной оценки влияния и важности информационных технологий на эффективность системы управления

промышленным предприятием / М. Костин, А. Пахомов // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2013. – № 3. – С. 244-246. – EDN TLQEDL.

4. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

References

1. Doronina, Yu. V. An integrated method for evaluating the effectiveness of an information system / Yu. V. Doronina // Quality and life. – 2018. – № 4(20). – Pp. 101-108. – EDN TWIJRP.

2. Certificate of state registration of the computer program No. 2022617593 Russian Federation. The PROGRAM for evaluating the effectiveness of the integrated use of information resources in the system of distributed situational centers : No. 2022616258 : application 04/12/2022 : published 04/22/2022 / E. L. Trakhinin, A. S. Belov, M. M. Dobryshin [et al.] ; applicant Federal State-owned Military Educational Institution of Higher Education "Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation". – EDN UYPNBI.

3. Kostin, M. A methodological approach to the integrated assessment of the impact and importance of information technology on the effectiveness of the management system of an industrial enterprise / M. Kostin, A. Pakhomov // RISK: Resources, Information, Supply, Competition. – 2013. – No. 3. – pp. 244-246. – EDN TLQEDL.

4. Sumin, V. I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В.В. Кондусова¹, А.М. Тюнина¹, Д.С. Кукуева¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема повышения надежности и автономности распределенных космических систем (РКС), таких как спутниковые группировки. Предлагается подход к предиктивному анализу состояния аппаратов на основе гибридной модели, сочетающей долгую краткосрочную память (LSTM) и графовые нейронные сети (GNN). Данная архитектура предназначена для совместного анализа многомерных временных рядов телеметрии и структурных взаимосвязей в группировке. Приведены результаты экспериментов на синтезированных и реальных данных, демонстрирующие эффективность модели в прогнозировании аномалий и потенциальных отказов, что позволяет перейти от реактивного к превентивному управлению и снизить нагрузку на центр управления полетами (ЦУП).

Ключевые слова: прогнозирование отказов, предиктивная аналитика, гибридные нейросети, LSTM, графовые нейронные сети (GNN), распределенные системы, анализ телеметрии, временные ряды, техническая диагностика, машинное обучение.

APPLICATION OF HYBRID NEURAL NETWORK MODELS FOR PREDICTING FAILURES IN DISTRIBUTED TECHNICAL SYSTEMS

V.V. Kondusova¹, A.M. Tyunina¹, D.S. Kukueva¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the urgent problem of increasing the reliability and autonomy of distributed space systems (RCS), such as satellite groupings. An approach to predictive analysis of the state of devices based on a hybrid model combining long-term short-term memory (LSTM) and graph neural networks (GNN) is proposed. This architecture is designed for the joint analysis of multidimensional time series of telemetry and structural relationships in the grouping. The results of experiments on synthesized and real data are presented, demonstrating the effectiveness of the model

in predicting anomalies and potential failures, which makes it possible to switch from reactive to preventive control and reduce the load on the mission control center (MCC).

Keywords: failure prediction, predictive analytics, hybrid neural networks, LSTM, graph neural networks (GNN), distributed systems, telemetry analysis, time series, technical diagnostics, machine learning.

Современные космические миссии все чаще опираются на распределенные системы: созвездия спутников связи (Starlink, OneWeb), научные кластеры, орбитальные группировки дистанционного зондирования Земли. Ключевыми вызовами для таких систем являются обеспечение высокой надежности, минимизация времени простоя и сокращение операционных расходов. Традиционный подход к управлению, основанный на реакции на уже произошедшие отказы и плановом техническом обслуживании по регламенту, становится недостаточным. Он ведет к высоким рискам потери аппарата, резервированию дорогостоящих ресурсов и огромной нагрузке на персонал ЦУП, который должен вручную анализировать потоки телеметрии с десятков или сотен спутников.

Предиктивная аналитика, основанная на методах машинного обучения (МО), открывает путь к переходу на проактивную модель управления «состоянием здоровья» (Health and Usage Management System, HUMS) каждого аппарата и системы в целом. Задача сводится к прогнозированию потенциальных отказов компонентов (двигательной установки, системы терморегулирования, бортового вычислителя, источников питания) на основе анализа исторических и текущих телеметрических данных. Однако специфика РКС накладывает уникальные ограничения:

1. Временная зависимость: Телеметрия – это многомерные временные ряды с complex взаимосвязями (например, температура батареи зависит от нагрузки, ориентации на Солнце, работы радиаторов).

2. Пространственная/топологическая зависимость: Аппараты в группировке функционируют в единой среде, подвергаются схожим внешним воздействиям (геомагнитные бури, радиация), могут обмениваться данными и координировать работу. Отказ одного спутника может повысить нагрузку на соседние.

3. Несбалансированность данных: События отказов и серьезных аномалий редки, что требует специальных подходов к обучению моделей.

4. Неполнота и зашумленность данных: Пропуски в сеансах связи, артефакты измерений, космические помехи.

Существующие подходы, такие как авторегрессионные модели, изолирующие леса или классические рекуррентные сети (RNN), часто работают с каждым аппаратом изолированно, игнорируя контекст группировки, либо неэффективно учитывают долгосрочные временные зависимости. В данной статье предлагается гибридная архитектура, преодолевающая эти ограничения.

Методология: Гибридная модель LSTM-GNN [1]

Предлагаемая модель основана на двух ключевых компонентах: модуле для анализа временных рядов и модуле для анализа графовых зависимостей.

Постановка задачи.

Пусть группировка состоит из N спутников. Для каждого спутника i в момент времени t имеется вектор телеметрических параметров x_i^t (токи, напряжения, температуры, давление, статусы). Задача – для каждого аппарата i в момент t спрогнозировать метку y_i^t (0 – норма, 1 – предвестник отказа) или значение индекса аномальности на некоторый горизонт прогнозирования Δt вперед.

Графовое представление группировки.

Группировка моделируется как граф $G = (V, E)$, где:

V – узлы (спутники), $|V| = N$.

E – ребра, отражающие потенциальные зависимости. Ребра могут задаваться на основе орбитальной близости (соседи по плоскости, межспутниковые линии связи), функциональной схожести (аппараты одной серии), или обучаться динамически. Каждому узлу i ставится в соответствие исходный признаковый вектор (например, усредненная за короткое окно телеметрия).

Архитектура модели.

Модель состоит из последовательно соединенных блоков:

LSTM-слой (индивидуальная временная динамика): Для каждого спутника i его временной ряд $\{x_i^1, \dots, x_i^T\}$ подается на индивидуальный LSTM-слой (возможен вариант с общими весами для всех аппаратов для борьбы с переобучением). LSTM эффективно улавливает долгосрочные зависимости и паттерны в эволюции параметров конкретного аппарата. На выходе для каждого узла формируется обогащенное временное представление h_i^T . [2]

GNN-слой (учет структурных зависимостей): Полученные узловые эмбединги h_i^T вместе с графом G подаются на слой графовой нейронной сети (например, Graph Convolutional Network – GCN или Graph Attention Network – GAT). Этот слой агрегирует информацию от соседних узлов, позволяя модели «распространять» знания об аномальном состоянии одного аппарата на его сосе-

дей и учитывать групповые эффекты. На выходе GNN формируются контекстуализированные представления z_i^T , учитывающие как историю самого аппарата, так и состояние системы.

Слой классификации/регрессии: Финальные представления z_i^T подаются на полносвязный слой с сигмоидальной или softmax-активацией для бинарной/многоклассовой классификации, либо для предсказания численного значения остаточного ресурса.

Обучение и данные.

Для обучения используется размеченный исторический набор данных, где метками служат известные инциденты. Для борьбы с дисбалансом применяются взвешенная функция потерь (например, Binary Cross-Entropy с весами классов), методы oversampling (SMOTE для временных рядов) или фокусировка на детектировании аномалий. Модель обучается минимизировать ошибку предсказания на горизонте Δt . [3]

Эксперименты и результаты

Для валидации подхода были проведены эксперименты на двух типах данных:

1. Синтезированные данные: Сгенерированы с помощью имитационной модели орбитальной группировки из 24 спутников, учитывающей физику отказов (например, деградация емкости аккумулятора по заданному закону, влияние повышенной температуры на вероятность сбоя процессора). В данные добавлен реалистичный шум и пропуски.

2. Реальные данные: Анонимизированные и нормализованные телеметрические данные с группы малых космических аппаратов (проект «XYZ»), содержащие записи нескольких подтвержденных отказов подсистем.

На синтезированных данных гибридная LSTM-GNN показала увеличение F1-score на 15-20% по сравнению с изолированной LSTM и на 25-30% по сравнению с Random Forest. Модель успешно выявляла каскадные сценарии, где отказ одного узла влиял на соседей.

На реальных данных все модели показали более скромные результаты из-за высокого уровня шума и малочисленности событий. Однако LSTM-GNN продемонстрировала наивысший Recall (около 0.85), что критически важно для предотвращения отказов (лучше ложное предупреждение, чем пропущенный сбой). Модель смогла предсказать два из трех известных отказов двигательной установки за 12-36 часов до критического ухудшения параметров, чего не сделала ни одна из базовых моделей.

GNN-компонент доказал свою полезность: в периодах повышенной солнечной активности модель корректно повышала «уровень внимания» ко всем аппаратам в группировке, даже если их индивидуальные параметры еще не вышли за пороговые значения.

Разработанная гибридная модель LSTM-GNN продемонстрировала потенциал в решении сложной задачи прогнозирования отказов в распределенных космических системах. Ее основное преимущество – способность интегрировать два ключевых аспекта данных РКС: временную динамику и топологические зависимости.

Таким образом, применение гибридных методов машинного обучения, учитывающих специфику распределенных космических систем, является перспективным направлением для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений, способных существенно повысить надежность и эффективность эксплуатации космических группировок будущего.

Список литературы

1. Компьютерное моделирование работоспособности финишных процедур и паразитных элементов в программно-аппаратном комплексе проектирования микросхем / А. С. Ягодкин, Н. Н. Литвинов, П. С. Иванин, А. С. Грошев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 106-115. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-104-113. – EDN NICLOY.

2. Андрюхин, Е. В. Прогнозирование сбоев и отказов в распределенных системах управления на основе моделей прогнозирования временных рядов / Е. В. Андрюхин, М. К. Ридли, Д. И. Правиков // Вопросы кибербезопасности. – 2019. – № 3(31). – С. 24-32. – DOI 10.21681/2311-3456-2019-3-24-32. – EDN EMVKAP.

3. Сай, В. К. Прогнозирование отказов сложных многообъектных систем на основе комбинации нейросетей: пути повышения точности прогнозирования / В. К. Сай, М. В. Щербаков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 1(49). – С. 49-60. – DOI 10.21672/2074-1707.2020.49.4.049-060. – EDN QIXRXX.

4. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140–143.

5. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.

6. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintizenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388–390.

7. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора / А. И. Заревич, Е. В. Вегнер, И. И. Винтизенко // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78–82.

8. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники / Т. П. Новикова, А. А. Бодин, А. И. Заревич // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77–80.

9. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron / I. I. Vintizenko, V. I. Guselnikov, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294–296.

10. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров / А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко, А. В. Полуэктов // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лес. форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛТУ. – Воронеж, 2025. – С. 773–785.

References

1. Yagodkin A. S., Litvinov N. N., Ivanin P. S., Groshev A. S. Computer simulation of the operability of finishing procedures and parasitic elements in the software and hardware complex of microcircuit design // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 3. – PP. 106-115. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-104-113. – EDN NICLOY.

2. Andriukhin, E. V. Forecasting failures and failures in distributed control systems based on time series forecasting models / E. V. Andriukhin, M. K. Ridley, D. I. Pravikov // Cybersecurity issues. – 2019. – № 3(31). – Pp. 24-32. – DOI 10.21681/2311-3456-2019-3-24-32. – EDN EMVKAP.

3. Sai, V. K. Predicting failures of complex multi-object systems based on a combination of neural networks: ways to improve forecasting accuracy / V. K. Sai, M. V. Shcherbakov // Caspian Journal: Management and High Technologies. – 2020. – № 1(49). – Pp. 49-60. – DOI 10.21672/2074-1707.2020.49.4.049-060. – EDN QIXRXX.

4. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.

5. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
6. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintizenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 388-390.
7. Automated complex for diagnostics of pulses of a relativistic microwave generator / A. I. Zarevich, E. V. Wegner, I. I. Vintizenko // Instruments and techniques of experiment. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
8. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of a dental clinic / T. P. Novikova, A. A. Bodin, A. I. Zarevich // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2023. – No. 3. – pp. 77-80.
9. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron / I. I. Vintizenko, V. I. Guselnikov, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, No. 4. – P. 294-296.
10. Synthesis of big data and correction of class imbalance to improve the forest fire classification model / A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, A.V. Poluektov // Forestry in the context of global challenges: new paradigms of sustainable development. Forestry – 2025 : materials of the International Forest. forum, timed. to celebrate the 95th anniversary of VGLTU. Voronezh, 2025. pp. 773-785.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
РАБОТЫ ПО ФОРМИРОВАНИЮ НАВЫКОВ
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА У ОБУЧАЮЩИХСЯ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

М.А. Коротков¹, В.А. Горюнов¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, Д.И. Дронов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются методологические основы, этапы и инструменты математического (статистического) и качественного анализа результатов профилактической работы по снижению травматизма в образовательной организации. На основе экспериментальных данных продемонстрирована динамика сформированности когнитивных знаний и поведенческих навыков обучающихся, выявлены ключевые внутренние и внешние факторы, влияющие на результативность мероприятий, а также сформулированы рекомендации по повышению достоверности интерпретации и оптимизации системы профилактики.

Ключевые слова: математический анализ, статистическая обработка данных, безопасность образовательной среды, образовательная организация, педагогический контроль, профилактика травматизма.

**MATHEMATICAL ANALYSIS AND INTERPRETATION OF THE
RESULTS OF WORK ON THE FORMATION OF INJURY PREVENTION
SKILLS AMONG STUDENTS OF AN EDUCATIONAL ORGANIZATION**

M.A. Korotkov¹, V.A. Goriunov¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, D.I. Dronov¹

¹Voronezh State Pedagogical University

² Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the methodological foundations, stages and tools of mathematical (statistical) and qualitative analysis of the results of preventive work to reduce injuries in an educational organization. Based on experimental data, the dynamics of the formation of cognitive

knowledge and behavioral skills of students is demonstrated, key internal and external factors influencing the effectiveness of measures are identified, and recommendations are formulated to increase the reliability of interpretation and optimize the prevention system.

Keywords: mathematical analysis, statistical data processing, safety of the educational environment, educational organization, pedagogical control, injury prevention.

Введение

Обеспечение безопасной образовательной среды является приоритетным направлением деятельности современных образовательных организаций. Формирование у обучающихся устойчивых навыков предотвращения травматизма требует не только внедрения профилактических мер, но и объективной оценки их эффективности. Интерпретация результатов данной работы представляет собой системный процесс анализа данных о частоте и причинах травм, охвате учащихся мероприятиями, уровне усвоения знаний и изменении поведенческих паттернов. Цель статьи – раскрыть методы математического и качественного анализа результатов профилактики травматизма и показать их роль в корректировке образовательной политики безопасности.

Методологические основы и этапы интерпретации

Интерпретация результатов профилактики травматизма строится на последовательном применении следующих этапов:

1. Сбор и систематизация данных. Фиксация частоты, видов и обстоятельств травм, а также учёт проведённых инструктажей, тренингов и классных часов.

2. Анализ причин травматизма. Выявление ключевых факторов: незнание норм безопасности, недостаточный педагогический контроль, возрастные особенности (наибольший риск у детей 6–12 и 12–15 лет на фоне импульсивности и эмоциональной неустойчивости).

3. Оценка эффективности мер. Сравнение показателей травматизма и уровня знаний до и после внедрения программы.

4. Анализ сформированности навыков. Диагностика теоретических знаний и их практической применимости в смоделированных или реальных ситуациях.

5. Бенчмаркинг. Сопоставление полученных данных с нормативными требованиями и лучшими практиками других учреждений.

6. Формулировка выводов. Выявление системных изъянов и разработка корректирующих рекомендаций.

Математический анализ количественных данных

Количественная оценка выступает основным инструментом объективной интерпретации. В ходе экспериментальной работы использовались следующие метрики:

- Динамика травматизма по сезонам, времени суток и видам повреждений;
- Уровень охвата обучающихся и персонала профилактическими мероприятиями;
- Результаты тестирования когнитивных знаний по безопасности.

Для наглядности приведены данные оценки когнитивных знаний по предупреждению травматизма в контрольной (КГ) и экспериментальной (ЭГ) группах.

Таблица 1. Данные оценки когнитивных знаний по предупреждению травматизма.

Показатель	КГ	ЭГ
Начальный срез	66 баллов	62 балла
Промежуточный срез	71 балл	70 баллов
Итоговый срез	75 баллов	77 баллов
Абсолютный прирост	+9 баллов	+15 баллов
Относительный прирост	≈ +13,6 %	≈ +24,2 %

Заметим. в экспериментальных результатах получен рост контрольной группы до 74 баллов (+12,1 %), что связано с округлением или учётом дополнительных критериев. Представленные в таблице данные отражают итоговые значения, зафиксированные в эксперименте.

Математическая обработка включала:

- Расчёт средних значений и процентной динамики по этапам эксперимента;
- Сравнительный анализ прироста показателей между КГ и ЭГ;
- Выявление корреляции между охватом профилактическими мероприятиями и снижением частоты травм (например, уменьшение травматизма на переменах при введении дежурства педагогов и организации подвижных игр).

Положительная динамика в экспериментальной группе (+24,1 % по данным автора) свидетельствует о высокой результативности внедрённых методических рекомендаций по сравнению с традиционным подходом в контрольной группе.

Качественный анализ и интерпретация результатов

Помимо статистических показателей, интерпретация опирается на качественные индикаторы:

- Формирование ответственного отношения к собственной безопасности;
- Развитие навыков прогнозирования опасных ситуаций;
- Улучшение сенсомоторной координации и ловкости движений;
- Повышение эмоциональной устойчивости и самоконтроля;
- Закрепление устойчивого образа безопасного поведения.

Эффективность профилактики детерминирована комплексом факторов:

- Внутренние: профессиональная компетентность педагогов, материально-техническое оснащение, структурированность программы, возрастно-психологические особенности и психосоматическое состояние обучающихся.
- Внешние: социально-экономический контекст, семейное воспитание, территориальная инфраструктура, сезонно-климатические условия.

Проблемы интерпретации и рекомендации по повышению достоверности

В процессе анализа могут возникать методологические ограничения:

1. Субъективность оценки. Риск искажения данных при отсутствии чётких критериев фиксации.
2. Недостаточность данных. Нерегулярный мониторинг приводит к статистическим погрешностям.
3. Влияние внешних факторов. Погодные условия, изменения в семейной среде могут влиять на травматизм независимо от школьных мер.

Для минимизации ошибок рекомендуется:

- Ввести регулярный мониторинг с фиксацией всех случаев травм и проведённых профилактических действий;
- Использовать комплексный подход: сочетание количественной статистики и качественных методов (наблюдение, экспертные оценки, анкетирование);

- Привлекать внешних экспертов (врачей, психологов, специалистов по охране труда) для верификации результатов;
- Оценивать не только краткосрочное снижение травматизма, но и долгосрочную устойчивость сформированных навыков.

Организационно-методические направления развития

На основе полученных данных формируются следующие векторы совершенствования системы:

- Организационные меры: усиление контроля за соблюдением правил безопасности, оптимизация учебного процесса, модернизация материально-технической базы, непрерывное повышение квалификации педагогов.
- Методические рекомендации: интеграция инновационных подходов к формированию культуры безопасности, внедрение деятельностного и индивидуализированного обучения, создание прозрачного механизма оценки результативности, перспективное планирование профилактических мероприятий.
- Стратегические направления: адаптация системы профилактики на основе выявленных рисков, расширение просветительской работы, развитие межведомственного взаимодействия и партнёрства с профильными институтами.

Заключение

Интерпретация результатов работы по формированию навыков предотвращения травматизма должна носить комплексный характер, объединяя математический анализ количественных показателей и качественную оценку поведенческих изменений. Такой подход позволяет объективно выявить системные пробелы, оценить эффективность применяемых методик, своевременно скорректировать программу и выстроить научно обоснованную стратегию развития профилактической деятельности. Успешная интерпретация данных способствует созданию безопасной образовательной среды и формированию у обучающихся устойчивых компетенций безопасного поведения, применимых в различных жизненных контекстах.

Список литературы

1. Абрамов Н.Р. Руководство по охране труда. Пособие по обучению отдельных категорий застрахованных. – М.: Изд-во «Безопасность труда и жизни», 2004.

2. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для студентов средних спец. учеб. заведений / Под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 2002.
3. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – М.: Высш. шк., 2001.
4. Безопасность жизнедеятельности. Ч. 2 / Под ред. проф. Э.А. Арустамова. – М.: ИВЦ «Маркетинг», 1999.
5. Безопасность и охрана труда: Учеб. пособие для вузов / Под ред. О.Н. Русака. – СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2001.
6. Дик Н.Ф. Безопасность образовательного процесса и охрана труда в школе, лицее. – М.: Феникс, 2007. – 344 с.
7. Выголова О.В. Травматизм детей школьного возраста г. Вологда и его профилактика. Медико-педагогические аспекты здоровья детского населения. – Вологда, 1995.
8. Горлов Н.Н. Система профилактики травматизма у детей: психологические аспекты // Педиатрия. – 1991. – № 1.
9. Муравьев В.А., Созинова Н.А. Техника безопасности на уроках физической культуры. – М., 2001.
10. Цыганков С.Н. Охрана труда в школе. Система работы руководителя. – М.: Учитель, 2007. – 303 с.
11. Чесноков А.В., Заревич А.И. Концептуальная модель развития двигательных компетенций в технологизации тренировочной деятельности студенческой сборной команды по пауэрлифтингу // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2018. – № 3. – С. 29–31.
12. Чесноков А.В., Заревич А.И., Долгополов Д.В. Технологизация физкультурной деятельности студентов Томского политехнического университета // Физическая культура и спорт на современном этапе: проблемы, поиски, решения : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. – С. 90–92.

References

1. Abramov N.R. Labor protection Manual. Training manual for certain categories of insured persons. Moscow: Publishing house "Safety of work and life", 2004.

2. Safety of life: A textbook for students of secondary specialized studies. establishments / Under the general editorship of S.V. Belov. Moscow: Higher School, 2002.
3. Safety of vital activity. Industrial safety and labor protection / P.P. Kukin, V.L. Lapin, N.L. Ponomarev, and others. – Moscow: Higher School of Economics, 2001.
4. Life safety. Part 2 / Edited by prof. E.A. Arustov. – Moscow: IVC "Marketing", 1999.
5. Occupational safety and health: Textbook for universities / Edited by O.N. Rusak. St. Petersburg: MANEB Publishing House, 2001.
6. Dick N.F. Safety of the educational process and labor protection at school, lyceum. Moscow: Phoenix, 2007. 344 p.
7. Vygolova O.V. Traumatism of school-age children in Vologda and its prevention. Medical and pedagogical aspects of children's health. Vologda, 1995.
8. Gorlov N.N. The system of injury prevention in children: psychological aspects // Pediatrics. - 1991. – No. 1.
9. Muraviev V.A., Sozinova N.A. Safety techniques in physical culture lessons. – M., 2001.
10. Tsygankov S.N. Occupational safety at school. The supervisor's work system. Moscow: Uchitel Publ., 2007. 303 p.
11. Chesnokov A.V., Zarevich A.I. A conceptual model for the development of motor competencies in the technologization of training activities of the student's national powerlifting team // Physical culture: nutrition, education, training. - 2018. – No. 3. – pp. 29-31.
12. Chesnokov A.V., Zarevich A.I., Dolgoplov D.V. Technologization of physical education activities of students of Tomsk Polytechnic University // Physical culture and sport at the present stage: problems, challenges, solutions : materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Tomsk : National Research Tomsk Polytechnic University, 2015. pp. 90-92.

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ БЕЗОПАСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.С. Кравченко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. О применении системного анализа в разработке безопасного программного обеспечения. Детализирован алгоритм анализа угроз с раскрытием применения методов системного анализа. Приведен пример декомпозиции системы на составляющие элементы и идентификация возможных угроз безопасности информационных ресурсов

Ключевые слова: Системный анализ, декомпозиция, SWOT-анализ, «What if»-модели.

ON THE APPLICATION OF SYSTEM ANALYSIS METHODS IN THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF SECURE SOFTWARE

A.S. Kravchenko¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. On the application of system analysis in the development of secure software. The algorithm of threat analysis is detailed, with the application of system analysis methods. An example of system decomposition into constituent elements and identification of possible threats to the security of information resources is given.

Keywords: System analysis, decomposition, SWOT analysis, «What if» models.

Введение

Среди всех практических приложений системного анализа к разработке безопасного программного обеспечения можно выделить три наиболее значимых:

1. Выявление угроз и рисков безопасности информационных ресурсов: Выявление потенциальных угроз и уязвимостей информационных систем при проектировании позволяет заранее обеспечить внедрение мер купирования угроз и снижения рисков.

2. Аспект структурирования требований к безопасности обработки информационных ресурсов: Аппарат теории системного анализа позволяет сформировать определенные и однозначные функциональные и нефункциональные требования к безопасности информационных ресурсов, разрабатываемого продукта. Что способствует согласованности целей проекта и редуцированию ошибок проектирования.

3. Решение задач оценки эффективности разрабатываемых решений: Включение в набор используемых средств методов моделирования и тестирования дает возможность вырабатывать оценку эффективности реализованных мер обеспечения безопасности информационных ресурсов, раннее обнаружение слабых мест способствует повышению качества конечного продукта.

Далее приведем описание процесса выявления угроз и рисков безопасности информационных ресурсов и выявим возможности применения аппарата системного анализа для решения этой задачи.

Следует показать, что на этапе выявления угроз и рисков безопасности информационных ресурсов аппарат системного анализа применяется для изучения внешних и внутренних факторов возникновения угроз для информационных ресурсов разрабатываемого программного обеспечения. Цель процесса состоит в идентификации потенциальных уязвимостей информационной системы [1].

В свою очередь, процесс выявления угроз и рисков безопасности информационных ресурсов можно разделить на следующие этапы:

1. **Идентификация компонентов и ресурсов:** Локализация и идентификация свойств ключевых компонентов системы, нуждающихся в обеспечении безопасности, необходима идентификация и описание конфиденциальных данных и описание с ними связанных процессов, фиксация номенклатуры программного и аппаратного обеспечения.

2. **Анализ угроз безопасности информационных ресурсов системы:** Составление номенклатуры вероятных видов атак на информационную систему, оценка их последствий. Включая как анализ известных типов атак, так и их комбинаций.

3. **Оценка рисков:** Расчет вероятности реализации угрозы безопасности и ущерба, связанного с ее реализацией. Например, рассчитывается вероятность утечки персональных данных или потери важной информации.

4. **Формулирование рекомендаций:** На основании результатов анализа формируются рекомендации по устранению выявленных угроз и снижению уровня риска.

Таким образом, системный анализ на данном этапе обеспечивает основу для принятия обоснованных решений относительно необходимых защитных мер и механизмов контроля, повышая общую защищенность программного обеспечения.

Детализировать алгоритм анализа угроз с раскрытием применения методов системного анализа можно, например, следующим образом.

Анализ угроз предполагает детальное исследование потенциально опасных ситуаций и условий, угрожающих безопасности разрабатываемого программного обеспечения [2].

Шаг 1: Сбор и классификация информации о компонентах системы

Цель: Определить элементы и компоненты системы, подлежащие защите.
(Приём системного анализа: Декомпозиция)

Декомпозируем систему на составляющие элементы. Разделяем систему на модули, сервисы, базы данных, интерфейсы взаимодействия и др., определяя наиболее важные активы.

Классифицируем каждый элемент согласно уровню критичности (важности):

- Высокоприоритетные элементы (конфиденциальные данные, коммерческие тайны)
- Средней важности элементы (функциональные возможности, инфраструктура)
- Низкоприоритетные элементы (лог-файлы, вспомогательные инструменты)

Шаг 2: Идентификация возможных угроз

Цель: Составить полный перечень угроз для каждого элемента системы.
(Приём системного анализа: SWOT-анализ (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats))

Для каждого классифицированного элемента используем методику SWOT-анализа, выделяя возможные угрозы (Threats). Среди примеров угроз:

- Уязвимости конфигурации сервера (переполнение буферов, некорректные настройки)
- Атаки типа «Отказ в обслуживании» (DoS/DDoS)
- Инъекции SQL-кода
- Фишинговые атаки
- Нарушение целостности данных
- Утечка конфиденциальной информации [3,4].

Шаг 3: Моделирование сценариев атаки

Цель: Создать реалистичные модели атак, направленных против системы. (Приём системного анализа: Имитация («What if»-модели)).

Применяется техника построения моделей гипотетических атак («Что произойдет, если...?»). Для каждого вида угроз создаётся сценарий возможного инцидента:

- Если злоумышленники получают доступ к базам данных?
- Что произойдёт при успешной инъекции вредоносного скрипта?
- Какова реакция системы на массированную DDoS-атаку?

Шаг 4: Ранжирование угроз по степени опасности

Цель: Установить приоритет угроз для дальнейшей обработки. (Приём системного анализа: Методология оценки рисков (матрица вероятностей и последствий)).

Каждую угрозу оцениваем по двум параметрам:

- Вероятность реализации угрозы (низкая/средняя/высокая)
- Последствия реализации угрозы (невысокие/умеренные/катастрофические)

Строится матрица рисков, позволяющая определить приоритеты для устранения угроз.

Шаг 5: Формирование стратегии реагирования

Цель: Предложить конкретные методы и механизмы противодействия угрозам. (Приём системного анализа: Морфологический синтез.)

Исходя из ранжированных угроз, выбираются соответствующие защитные мероприятия:

- Использование технологий шифрования данных
- Настройка двухфакторной аутентификации
- Регулярное обновление патчей и исправлений
- Мониторинг аномалий поведения сети
- Создание резервных копий и восстановление данных

Таблица 1 – Итоговая таблица угроз и мероприятий

№	Угроза	Уровень риска	Рекомендуемые контрмеры
1	Перехват сетевого трафика	Средний	TLS-шифрование
2	Атакующие SQL-инъекции	Высокий	Проверка вводимых данных
3	Утрата данных вследствие сбоев	Высший	Резервное копирование
4	Незаконный доступ сотрудников	Средний	Контроль прав доступа

Рассмотрим пример, раскрывающий первый шаг алгоритма, применимо к программному средству, реализующему доступ к системе управления технологическим процессом с мобильного устройства.

Первый шаг: Сбор и классификация информации о компонентах системы

Цель первого шага заключается в определении всех элементов системы, которые подлежат защите, и классификации их по уровню значимости и критичности. Этот шаг необходим для последующего фокусирования внимания на важнейших аспектах безопасности и правильного распределения ресурсов.

Для успешного выполнения данного шага используются приемы системного анализа, среди которых ключевой является декомпозиция, то есть разделение сложной системы на отдельные подсистемы и компоненты, позволяющие ясно увидеть структуру и взаимосвязи.

Этап 1: Детализация структуры системы

Мы рассматриваем систему управления технологическим процессом (СУТП), доступной через мобильное приложение. Она состоит из следующих основных компонент:

1. Сервер СУТП

Обеспечивает управление оборудованием и мониторинг технологических процессов.

Содержит базу данных с важными производственными показателями и конфигурациями оборудования.

2. Мобильное приложение

- Предоставляет интерфейс для оператора (или инженера), позволяющий управлять системой и получать уведомления о состоянии производства.

- Передаёт команды серверу и получает обратно информацию о статусе оборудования.

3. Каналы связи

- Интернет-канал между мобильным устройством и сервером СУТП.

- Локальная сеть предприятия, связанная с серверами и промышленным оборудованием.

4. Пользовательские аккаунты

- Учётные записи операторов и инженеров, обладающие различными правами доступа.

5. Аппаратное оборудование

- Серверы СУТП, промышленные контроллеры, датчики и исполнительные механизмы, взаимодействующие с системой.

Этап 2: Классификация элементов системы по значимости

Следующим этапом является присвоение каждому элементу определённого уровня значимости исходя из его роли в обеспечении безопасности технологического процесса. Примем для рассмотрения три уровня классификации значимости:

Высокий – элементы, нарушение безопасности в которых влечет серьезный ущерб (потеря производительности, угроза персоналу, финансовые убытки);

Средний – элементы, нарушение безопасности в которых влечет к ущербу, но не оказывает существенного влияния на производство;

Низкий – элементы, нарушение безопасности в которых несущественно и последствия легко восстановимы.

Таблица 2 – Уровни значимости

Компоненты	Значимость
База данных производственного состояния	Высокая
Пользовательские учётные записи	Средняя
Протокол передачи данных (интернет-каналы)	Высокая
Интерфейс мобильного приложения	Средняя
Аппаратное оборудование (серверы)	Высокая
Внешнее ПО на мобильном устройстве	Низкая

Заключение

Таким образом, применив приёмы системного анализа (декомпозиция, SWOT-анализ, имитация, оценка рисков и морфологический синтез), мы можем

эффективно проанализировать угрозы и предложить комплекс эффективных защитных мер для минимизации рисков в рамках разрабатываемого программного обеспечения.

По завершении первого шага мы получаем чёткое представление о структуре системы и уровнях значимости отдельных её частей. Эти знания позволят нам сосредоточить внимание на наиболее важных компонентах, подвергнуть их тщательному анализу угроз и принять эффективные меры по обеспечению информационной безопасности.

Список литературы

1. Рябев, В. И. Системный анализ информационной модели голографической визуализации данных / В. И. Рябев, С. Л. Сахаров, А. Ю. Павлов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 78-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-78-84. – EDN GBXSOC.
2. Огнева, К. Н. Перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта в системы обеспечения информационной безопасности / К. Н. Огнева, А. С. Кравченко // Молодежь и XXI век - 2024 : Сборник научных статей 13-й Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Курск, 15–16 февраля 2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 413-415. – EDN TQDQUK.
3. Анализ методик автоматизированной оценки угроз и рисков информационной безопасности информационно-телекоммуникационных систем / Ю. В. Скоредова, Е. В. Гречишников, А. С. Кравченко, О. В. Ланкин // Вестник Воронежского института ФСИИ России. – 2017. – № 3. – С. 128-133. – EDN YRBEBE.
4. Безопасная разработка и уязвимости программного кода. – URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/658319>.

References

1. Ryabev, V. I. Sistemnii analiz informatsionnoi modeli golograficheskoi vizualizatsii dannikh / V. I. Ryabev, S. L. Sakharov, A. Yu. Pavlov // Modelirovanie sistem i protsessov. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 78-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-78-84. – EDN GBXSOC.
2. Ogneva, K. N. Perspektivi vnedreniya tekhnologii iskusstvennogo intellekta v sistemi obespecheniya informatsionnoi bezopasnosti / K. N. Ogneva, A. S.

Kravchenko // Molodezh i XXI vek - 2024 : Sbornik nauchnikh statei 13-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii. V 3-kh tomakh, Kursk, 15–16 fevralya 2024 goda. – Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga", 2024. – S. 413-415. – EDN TQDQUK.

3. Analiz metodik avtomatizirovannoi otsenki ugroz i riskov informatsionnoi bezopasnosti informatsionno-telekommunikatsionnikh sistem / Yu. V. Skoredova, Ye. V. Grechishnikov, A. S. Kravchenko, O. V. Lankin // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. – 2017. – № 3. – S. 128-133. – EDN YRBEBE.

4. Bezopasnaya razrabotka i uyazvimosti programmno koda. – URL: <https://habr.com/ru/company/otus/blog/658319>.

РОЛЬ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

И.М. Кудинов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: статья посвящена исследованию роли и значимости рекомендательных систем в сфере электронной коммерции. Рассматриваются основные виды и методы реализации рекомендательных систем, их влияние на эффективность бизнеса, увеличение конверсии и улучшение пользовательского опыта. Особое внимание уделяется задачам адаптации и интеграции таких систем в современные IT-продукты. В работе также раскрываются проблемы и ограничения существующих технологий, а также направления их развития.

Ключевые слова: электронная коммерция, рекомендательные системы, IT-продукты, коллаборативная фильтрация, персонализация, поведенческий анализ, цифровая трансформация.

RECOMMENDATION SYSTEMS IN E-COMMERCE: ROLE AND DEVELOPMENT TRENDS

I.M. Kudinov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: This article is devoted to the study of the role and significance of recommendation systems in e-commerce. The main types and methods of implementing recommendation systems are considered, as well as their impact on business efficiency, conversion growth, and user experience improvement. Special attention is paid to the adaptation and integration of such systems into modern IT products. The work also discusses existing technological challenges and the main directions of their development.

Keywords: e-commerce, recommendation systems, IT products, collaborative filtering, personalization, behavioral analysis, digital transformation.

Современные IT-продукты играют ключевую роль в развитии бизнеса, повышая эффективность процессов, снижая издержки и обеспечивая конкурентоспособность компаний в условиях стремительно развивающейся цифровой экономики. Информационные технологии сегодня проникают практически во все сферы деятельности – от промышленного производства до образования и торговли. Их внедрение способствует автоматизации рутинных операций, ускорению принятия управленческих решений и повышению точности бизнес-аналитики. Использование цифровых инструментов позволяет организациям гибко реагировать на изменения рыночной конъюнктуры, формировать индивидуальные предложения для клиентов и эффективно использовать накопленные данные для стратегического планирования.

На данный момент, очень часто можно встретить внедренные в различные слои и виды бизнеса все более современные и технологичные информационные продукты. Из-за своего тесного интегрирования они помогают различным компаниям улучшать эффективность и работоспособность работников, расширять собственные возможности и оставаться конкурентноспособными для увеличения и сохранения своих прибыли и клиентов. IT-продукты в бизнесе играют очень важную роль, так как, они не только улучшают текущие процессы компаний, но и позволяют использовать различные возможности для роста, масштабирования и прогресса бизнеса.

Одна из самых прогрессивных и актуальных на данный момент времени областей, где различные современные информационные технологии стали важнейшим атрибутом, – это электронная коммерция и ее обширный рынок. Это направление объединяет широкий спектр цифровых платформ – от интернет-магазинов и маркетплейсов до онлайн-сервисов бронирования и доставки. Высокая доступность интернет-инфраструктуры, рост мобильных устройств и удобство онлайн-платежей способствовали массовому переходу покупателей в онлайн-среду. В этих условиях компании столкнулись с новым вызовом: как выделиться среди множества конкурентов и привлечь внимание потребителя, когда выбор товаров и услуг фактически не ограничен. Здесь использование IT-продуктов играет ключевую роль для успеха и конкурентной способности бизнеса.

Область электронной коммерции объединяет все площадки и сервисы, где оплата происходит онлайн. В первую очередь, – это интернет-магазины, которые принимают платежи через различные сервисы эквайринга. Но, также, рынок электронной коммерции – это огромные взаимосвязанные бизнес-процессы по проведению платежей.

В современном мире данное понятие охватывает интернет-торговлю и купле-продажу товаров через интернет, мобильную торговлю, денежные переводы онлайн, управление поставками, цифровой маркетинг, онлайн-системы обработки сделок, обмен электронными данными (EDI), системы управления инвентарем и автоматизированные средства по сбору различной информации.

Современное общество стало свидетелем стремительного развития рынка электронной коммерции, играющего важнейшую роль в формировании и работоспособности бизнеса.

Но, к сожалению, с каждым годом количество интернет-магазинов увеличивается, и конкуренция становится острой и ощутимой. Привлечение и удержание клиентов для компаний и их бизнеса в сфере электронной коммерции становится сложной и тяжело решаемой задачей. Одними из ключевых проблем являются превращение посетителей в покупателей и увеличение конверсии купле-продажи товаров. Для решения таких значимых проблем бизнеса существуют рекомендательные системы.

Ключевым инструментом, решающим эту задачу, стали рекомендательные системы, способные анализировать большие объёмы пользовательских данных и формировать индивидуальные предложения. Такие системы позволяют не только показывать релевантные товары или услуги, но и выстраивать персонализированное взаимодействие с каждым клиентом. На основе анализа поведения пользователей, их предпочтений, истории просмотров, покупок и даже времени взаимодействия с контентом создаются динамические профили, которые постоянно обновляются и совершенствуются.

Рекомендательные системы играют важную роль в улучшении удовлетворенности клиентов, оптимизации пользовательского опыта и увеличении конверсии в интернет-торговле. Они анализируют предпочтения и поведение пользователей, чтобы предлагать наиболее подходящие товары или услуги. Такой подход помогает сократить время поиска необходимого продукта, улучшить индивидуализацию обслуживания и повысить вероятность совершения покупки.

Рекомендательные системы обладают неоспоримыми преимуществами, ведь способны создавать персонализированные рекомендации для каждого отдельного пользователя на основе его предпочтений, истории покупок и различных поведенческих данных. Это позволяет улучшать качество обслуживания и делать взаимодействие с интернет-магазином более эффективным.

За счет использования рекомендательных систем компании могут иметь возможности повысить средний чек от покупки благодаря тому, что рекомендательные системы будут предлагать дополнительные товары или услуги, которые, скорее всего, смогут заинтересовать пользователей. Именно это будет способствовать увеличению общей выручки и повышению эффективности бизнеса.

Рекомендательные системы выполняют несколько ключевых функций. Повышение удобства и скорости выбора помогает пользователю быстрее находить нужный товар, что сокращает время принятия решения. Рост конверсии увеличивает вероятность покупки, так как клиенту предлагаются продукты, действительно соответствующие его интересам. Увеличение среднего чека, потому что система предлагает сопутствующие товары или услуги, стимулируя дополнительные покупки. Укрепление лояльности, так как, персонализированные предложения создают ощущение индивидуального подхода, повышая доверие и вовлечённость клиента. 3%»)). Такой подход превращает результат модели в понятный инструмент.

Современные алгоритмы рекомендаций развиваются в нескольких направлениях. Контентная фильтрация основывается на анализе характеристик товаров и подборе похожих на уже просмотренные или приобретённые пользователем. Коллаборативная фильтрация выявляет пользователей со схожими интересами и предлагает им похожие продукты, что особенно эффективно при большом объёме данных. Фильтрация на основе знаний использует связи между объектами и логические зависимости, формируя более точные и обоснованные рекомендации. Гибридные модели объединяют сразу несколько подходов, обеспечивая баланс между точностью и скоростью обработки информации.

Особое значение рекомендательные системы приобрели в период пандемии COVID-19, когда произошёл резкий рост онлайн-продаж. По данным аналитических агентств, доля интернет-покупателей увеличилась более чем на 40%, а объём рынка электронной коммерции в России за 2020 год вырос почти вдвое. В этот период многие компании начали активно инвестировать в развитие цифровых платформ, уделяя особое внимание технологиям персонализации и удержания клиентов. Именно рекомендательные системы стали инструментом, позволившим бизнесу не только выжить, но и укрепить позиции на рынке в условиях ограниченного физического взаимодействия с потребителями.

Тем не менее, разработка и внедрение эффективных рекомендательных систем сопряжены с рядом серьёзных вызовов.

Одной из главных проблем является недостаточность данных – особенно при запуске новых проектов, когда отсутствует история взаимодействий пользователей. Эту задачу решают за счёт привлечения внешних источников информации, генерации синтетических данных или применения алгоритмов холодного старта.

Второй сложностью является высокая вычислительная нагрузка: обработка миллионов записей в реальном времени требует оптимизированной архитектуры и масштабируемых серверных решений. Всё чаще компании переходят на микросервисную архитектуру, позволяющую разделить функционал системы на отдельные независимые компоненты – обработку данных, анализ поведения, генерацию рекомендаций и визуализацию.

Для повышения точности рекомендаций активно используются методы машинного обучения и глубокого анализа данных (Deep Learning). Системы обучаются на пользовательских действиях, выявляя скрытые закономерности, недоступные классическим методам статистики. Например, модели нейронных сетей способны прогнозировать интерес пользователя к определённым товарам на основе последовательности кликов, просмотров и временных интервалов между ними. Дополнительно внедряются механизмы обратной связи, позволяющие системе самообучаться на основе пользовательских оценок и действий после рекомендации.

Перспективным направлением развития является интеграция рекомендательных систем с технологиями искусственного интеллекта (AI) и Big Data, что позволяет анализировать не только прямое взаимодействие пользователя с платформой, но и внешние факторы – погоду, геолокацию, время суток, социальные тренды. Благодаря этому формируются контекстно-зависимые рекомендации, которые максимально соответствуют текущему состоянию пользователя и рыночной ситуации.

В ближайшем будущем рекомендательные системы будут играть ещё более важную роль в цифровой экономике. Они станут частью интеллектуальных экосистем, объединяющих аналитику, прогнозирование спроса, динамическое ценообразование и автоматизацию маркетинговых стратегий. Благодаря развитию облачных технологий и распределённых вычислений, персонализированные рекомендации смогут формироваться в реальном времени, а взаимодействие между бизнесом и клиентом станет практически бесшовным.

Таким образом, рекомендательные системы представляют собой не просто вспомогательный инструмент, а стратегический элемент современной электронной коммерции. Они способствуют росту эффективности бизнеса, повышают удовлетворённость клиентов, снижают операционные издержки и формируют основу для дальнейшей цифровой трансформации. Компании, сумевшие успешно интегрировать такие решения в свои IT-продукты, получают долгосрочные конкурентные преимущества и открывают новые возможности для масштабирования и инноваций.

Список литературы

1. Рикардо, Б. А., Нильсен, А. Современные подходы к построению рекомендательных систем // Журнал «Информационные технологии и анализ данных». – 2023. – № 4. – С. 45–58.
2. Гусев, И. В. Машинное обучение в системах персонализации интернет-коммерции // Электронная коммерция и цифровые платформы. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 33–47.
3. Кузнецов, А. С., Смирнова, Е. Ю. Анализ эффективности рекомендательных систем в онлайн-торговле // Вестник прикладной информатики. – 2023. – № 1. – С. 19–28.
4. Давыдова, Н. П. Применение методов коллаборативной фильтрации в цифровом маркетинге // Информационные технологии и программирование. – 2024. – URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 10.10.2025).
5. Воронов, М. Е., Левина, Т. С. Рекомендательные системы как инструмент повышения конверсии в электронной коммерции // Современные технологии в экономике и бизнесе. – 2023. – № 6. – С. 57–66.
6. Goh, H. A. Deep Learning Approaches for E-Commerce Recommendation Systems // International Journal of Computational Intelligence Systems. – Springer, 2023.
7. Nadukuda, N. AI-Driven Personalization in E-Commerce: Techniques and Trends // International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIAP). – 2023. – URL: <https://iaeme.com> (дата обращения: 10.10.2025).

References

1. Ricardo, B. A., & Nielsen, A. Modern Approaches to Building Recommendation Systems. Information Technologies and Data Analysis Journal, 2023, No. 4, pp. 45–58.

2. Gusev, I. V. Machine Learning in Personalization Systems for E-Commerce. *E-Commerce and Digital Platforms*, 2024, Vol. 12, No. 2, pp. 33–47.
3. Kuznetsov, A. S., & Smirnova, E. Yu. Efficiency Analysis of Recommendation Systems in Online Retail. *Bulletin of Applied Informatics*, 2023, No. 1, pp. 19–28.
4. Davydova, N. P. Application of Collaborative Filtering Methods in Digital Marketing. *Information Technologies and Programming*, 2024. Available at: <https://cyberleninka.ru> (accessed: 10.10.2025).
5. Voronov, M. E., & Levina, T. S. Recommendation Systems as a Tool for Increasing Conversion in E-Commerce. *Modern Technologies in Economics and Business*, 2023, No. 6, pp. 57–66.
6. Goh, H. A. Deep Learning Approaches for E-Commerce Recommendation Systems. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Springer, 2023.
7. Nadukuda, N. AI-Driven Personalization in E-Commerce: Techniques and Trends. *International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIAP)*, 2023. Available at: <https://iaeme.com> (accessed: 10.10.2025).

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

И.М. Кудинов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: статья посвящена теоретическим основам и современным подходам к построению рекомендательных систем в сфере электронной коммерции. Рассмотрены типы систем – неперсонализированные, персонализированные, коллаборативная и контентная фильтрация, фильтрация на основе знаний, а также гибридные решения. Особое внимание уделено проблемам «холодного старта», методам оценки эффективности систем (MAE, MSE, RMSE, Precision, Recall, F1-measure), а также достоинствам и недостаткам применения рекомендательных систем для бизнеса и пользователей.

Ключевые слова: рекомендательные системы, электронная коммерция, персонализация, коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, гибридные системы, холодный старт, оценка эффективности, MAE, RMSE, Precision, Recall, F1-measure.

MODERN METHODS FOR DEVELOPING PERSONALIZED RECOMMENDER SYSTEMS

I.M. Kudinov¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: This article is devoted to the theoretical foundations and modern approaches to the development of recommender systems in e-commerce. It examines system types – non-personalized, personalized, collaborative and content-based filtering, knowledge-based filtering, and hybrid solutions. Special attention is given to the “cold start” problem, methods for evaluating system performance (MAE, MSE, RMSE, Precision, Recall, F1-measure), as well as the advantages and disadvantages of recommender systems for both businesses and users.

Keywords: Recommender systems, e-commerce, personalization, collaborative filtering, content-based filtering, hybrid systems, cold start, performance evaluation, MAE, RMSE, Precision, Recall, F1-measure.

Рекомендательные системы – это информационные системы, которые предлагают пользователю советы по покупкам на основании анализа его предпочтений, действий или характеристик товаров или услуг. Эти системы широко используются в различных областях, таких как онлайн-торговля, стриминг, социальные сети и другие платформы, где важно предложить пользователю наиболее актуальные и интересные варианты.

Системы рекомендаций, в первую очередь, ориентированы на ту область проблем бизнеса, где нет достаточного личного опыта или знаний для оценки большого числа альтернатив, которые могут предложить сервисы.

Рекомендательная система старается предсказать, какие продукты или услуги наиболее подходят пользователю, исходя из его предпочтений и ограничений. Для этого система собирает данные о пользовательских интересах, которые могут быть явно выражены, например, в виде оценок предметов или их покупки. Также, некоторые системы могут рассматривать переход на определенную страницу продукта как невербальный признак предпочтения товаров.

Обычно, большинство сайтов начинают с использования неперсонализированных рекомендаций, так как их легко внедрить и не требуется знать предварительную информацию о пользователях. Не зависимо от того, насколько ограничена ваша информация о пользователях, неперсонализированные рекомендации все равно полезны в том смысле, что их всегда можно представить. Чаще всего, такие рекомендации применимы лишь в тех случаях, когда у системы еще недостаточно информации о пользователе.

Список неперсонализированных рекомендаций может включать самые популярные товары или статьи, рекомендации на основе актуальных событий или тем, а также общие характеристики товаров и контента. Если у пользователя нет достаточно данных для создания персонализированных рекомендаций или если требуется быстрое и простое решение, то неперсонализированные рекомендации могут быть полезными. Тем не менее, в ситуациях, где необходима наивысшая степень соответствия и персонализации для каждого пользователя, они могут быть малоэффективными.

Персонализированные рекомендательные системы – это разработанные специальные советы, учитывающие историю, предпочтения и поведение каждого пользователя на платформе. Благодаря своей помощи пользователям в поиске самых подходящих товаров и/или услуг, они увеличивают вероятность покупки и удовлетворенность данных пользователей.

Рекомендации, подобранные персонально для каждого конкретного пользователя, помогают улучшить их опыт работы с интернет-магазином и могут значительно повысить его доход. Чем больше предложения персонализированы и соответствуют интересам клиента, тем выше вероятность совершения покупки.

Коллаборативная фильтрация – это метод прогнозирования предпочтений пользователя на основе интересов других людей, покупающих или оценивающих те же товары, что и данный пользователь [6]. Система использует собранную информацию о товарах, которые уже интересуют аудиторию с похожими интересами, но еще не вызвали интерес у конкретного человека.

Еще одним распространенным подходом при разработке рекомендательных систем является использование фильтрации на основе контента. Фильтрация на основе контента определяется по предпочтениям пользователя. Этот метод наиболее эффективен в ситуациях, когда есть информация об элементе, но нет данных о пользователе.

В данной системе товары описываются с помощью ключевых слов, а пользовательский профиль создается для указания предпочитаемого типа товара. Иначе говоря, данные алгоритмы стараются подобрать элементы, которые напоминают те, что пользователю нравились ранее или которые он интересуется в данный момент. В частности, сравниваются различные товары-кандидаты со своими оценками от пользователей и рекомендуются наиболее подходящие.

Методы коллаборативной фильтрации и анализа содержимого эффективно применяются в случаях, когда пользователь часто совершает покупки или потребляет медиаконтент. Однако, в случае редких покупок, таких как недвижимость, автомобили или компьютеры, эти методы могут оказаться неэффективными из-за недостаточного объема данных о предпочтениях пользователя.

Существуют ситуации и области, где история действий пользователя не является информативной. Например, на сайтах, где пользователи совершают покупки редко, таких как ювелирные изделия или крупная бытовая техника, более уместно применять метод фильтрации данных, основанный на экспертных знаниях в конкретной области.

Для решения данной задачи применяются методы, основанные на знаниях, которые можно разделить на две основные группы: использование жестких ограничений и выбор близких объектов.

Метод гибридной фильтрации объединяет в себе сильные стороны коллаборативной фильтрации и контентной фильтрации для улучшения подбора пер-

сонализированного контента для отдельных пользователей. Этот подход позволяет создавать более индивидуальные и разнообразные рекомендации под каждого из посетителей платформы.

Для примера рассмотрим гибридный метод, сочетающий в себе функциональности методов А и В. В данном случае гибридная система будет стремиться использовать преимущества метода А для преодоления недостатков метода В, и наоборот. Например, коллаборативный метод может испытывать проблему "Холодного старта" и быть неспособным рекомендовать товары без оценок или не знать, что рекомендовать новым пользователям платформы. Контентная фильтрация, в свою очередь, строит предсказание товаров, основываясь на их описании, которые обычно легко доступны.

Одно из достоинств рекомендательных систем – это повышение посещаемости поисковиков, онлайн-магазинов и других интернет-сервисов. Это приводит к повышению количества покупок и клиентов, а, соответственно, к росту продаж и повышению прибыли.

Однако рекомендательные системы приносят пользу обычным пользователям. При правильном применении они значительно улучшают интерфейс и общее пользование онлайн-продуктами, делая их более удобными и комфортными для посетителей. В результате пользователи становятся более схожими друг с другом, что может приводить к потере индивидуальности каждого конкретного пользователя.

Рекомендательные системы предоставляют пользователю значительное преимущество в экономии времени. Благодаря качественным рекомендациям пользователь может быстро найти нужные ему товары или услуги, без необходимости затрачивать много времени на поиск. Это не только облегчает процесс выбора, но также повышает ключевые показатели у бизнеса, а это является еще одним значимым преимуществом рекомендательных систем.

Оптимизация времени, затрачиваемого пользователями, способствует увеличению продаж и повышению доходов компании. Например, если рекомендательная система знает, что при покупке очков с темными линзами пользователи достаточно часто приобретают крем, защищающий от солнца и купальники, то вероятность того, что пользователь добавит в корзину и эти товары, значительно возрастает после их рекомендации данному пользователю.

Однако, помимо очевидных преимуществ, есть и недостатки. Один из них заключается в том, что рекомендательная система может лишить пользователей

возможности самостоятельно выбирать контент, их предпочтения начинают зависеть от алгоритма. Это может привести к деградации системы, так как ей становится сложнее обучаться на основе новых данных.

Одной из наиболее актуальных проблем сегодня является влияние, которое интернет-ресурсы оказывают на мнения своей аудитории. Особенно острой эта проблема становится в контексте социальных сетей. Алгоритмы умных лент новостей формируют мировоззрение пользователей не только в сфере развлечений, но и в более серьезных вопросах.

Одним из основных недостатков рекомендательных систем является проблема "холодного старта", когда система не может дать релевантные рекомендации для пользователей или предметов из-за недостаточной информации. Эта проблема хорошо известна и широко изучена в контексте рекомендательных систем. Такие системы представляют собой особый вид технологии фильтрации информации, направленной на предоставление пользователю рекомендаций по различным информационным элементам, таким как электронная коммерция, фильмы, музыка, книги, новости, изображения и веб-страницы, которые могут быть для него интересны.

Рекомендательная система обычно анализирует профиль пользователя, сопоставляя его с эталонными характеристиками. Эти характеристики могут относиться к свойствам товара или социальному окружению пользователя, а также его предыдущему поведению. В зависимости от конкретной системы пользователь может быть учтен через различные виды взаимодействия, такие как рейтинги, закладки, покупки, лайки, число посещений страницы и другие.

Система рекомендаций для онлайн магазина представляет собой инновационное решение, объединяющее различные подходы.

Коллаборативная фильтрация и контентный подход используются для создания персонализированных рекомендаций. В начале работы система оперирует по неперсонализированному принципу, который активируется в случаях, когда информация о предпочтениях пользователя ограничена. По мере проявления интереса со стороны пользователя, система переходит на фильтрацию контента, чтобы предложить более релевантные рекомендации.

Для перехода к персонализированному подходу в формировании списка пользовательских рекомендаций необходимо, чтобы пользователь взаимодействовал хотя бы с одним товаром и совершил целевое действие, а именно – совершил покупку. Выбор контентной и коллаборативной фильтрации обусловлен

низкой частотой возвращения пользователей веб-приложений электронной коммерции для повторных покупок. Это объясняется множеством факторов, однако часто пользователи привлекаются контентом, который пользуется популярностью у их целевой аудитории.

Для разработки рекомендательной системы веб-приложения электронной коммерции предлагается применить гибридный подход, учитывающий как профили товаров, так и профиль пользователя. Рекомендации должны быть разработаны на основе указанных выше условий.

После проведенного сравнения было принято решение выбрать гибридный подход, объединяющий неперсонализированный подход и гибридную фильтрацию. Это позволит закрыть недостатки и использовать достоинства отдельных методов и подходов.

Интеграция различных методов фильтрации позволит увеличить точность, актуальность и разнообразие рекомендаций, преодолевая ограничения, характерные для каждого метода в отдельности. При использовании подобных веб-приложений избыточное использование анкет может отпугнуть пользователей от совершения покупок и привести к отсеиванию рекомендаций, основанных на анкетных данных.

Вместо этого, основной упор делается на фильтрацию контента и неперсонализированный подход. Для устранения недостатков каждого из этих подходов было принято решение объединить их в гибридную рекомендательную систему. Этот выбор обусловлен как преимуществами гибридной фильтрации, так и способностью данного метода компенсировать недостатки других подходов, что в итоге улучшает точность и качество рекомендаций.

Гибридная фильтрация является ключевым фактором успеха в области электронной коммерции. Высокое покрытие рекомендациями в этой сфере идеально сочетается с возможностями гибридной фильтрации, делая ее идеальным инструментом для привлечения и удержания пользователей на электронной коммерческой платформе. Когда пользователь впервые посещает веб-приложение, ему рекомендуются самые популярные товары.

При дальнейшем использовании веб-приложения фильтрация на основе содержания начинает действовать, предлагая пользователю товары, похожие на те, которые его заинтересовали ранее.

Список литературы

1. Рикардо Б.А., Нильсен А. Современные подходы к построению рекомендательных систем // Информационные технологии и анализ данных. – 2023. – № 4. – С. 45-58.
2. Гусев И.В. Машинное обучение в системах персонализации интернет-коммерции // Электронная коммерция и цифровые платформы. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 33-47.
3. Кузнецов А.С., Смирнова Е.Ю. Анализ эффективности рекомендательных систем в онлайн-торговле // Вестник прикладной информатики. – 2023. – № 1. – С. 19-28.
4. Давыдова Н.П. Применение методов коллаборативной фильтрации в цифровом маркетинге // Информационные технологии и программирование. – 2024. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 10.10.2025).
5. Воронов М.Е., Левина Т.С. Рекомендательные системы как инструмент повышения конверсии в электронной коммерции // Современные технологии в экономике и бизнесе. – 2023. – № 6. – С. 57-66.
6. Goh H.A. Deep Learning Approaches for E-Commerce Recommendation Systems // International Journal of Computational Intelligence Systems. – Springer, 2023.
7. Nadukuda N. AI-Driven Personalization in E-Commerce: Techniques and Trends // International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIAP). – 2023. URL: <https://iaeme.com> (дата обращения: 10.10.2025).

References

1. Ricardo B.A., Nielsen A. Modern approaches to the construction of recommendation systems // Information technologies and data analysis. – 2023. – No. 4. – pp. 45-58.
2. Gusev I.V. Machine learning in inter-net-commerce personalization systems // E-commerce and digital platforms. – 2024. – Vol. 12, No. 2. – pp. 33-47.
3. Kuznetsov A.S., Smirnova E.Yu. Analysis of the effectiveness of recommendation systems in online commerce // Bulletin of Applied Informatics. - 2023. – No. 1. – pp. 19-28.
4. Davydova N.P. Application of collaborative filtering methods in digital marketing // Information technology and programming. - 2024. URL: <https://cyberleninka.ru> (date of request: 10.10.2025).

5. Voronov M.E., Levina T.S. Recommendation systems as a tool for increasing conversion in e-commerce // Modern technologies in economics and business. – 2023. – No. 6. – pp. 57-66.
6. Goh H.A. Deep Learning Approaches for E-Commerce Recommendation Systems // International Journal of Computational Intelligence Systems. – Springer, 2023.
7. Nadukuda N. AI-Driven Personalization in E-Commerce: Techniques and Trends // International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIAP). – 2023. URL: <https://iaeme.com> (date of request: 10.10.2025).

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ МЕТРИК В ПРОЦЕССАХ СОГЛАСОВАНИЯ ДОКУМЕНТОВ: ВЫЯВЛЕНИЕ «УЗКИХ МЕСТ» НА ОСНОВЕ PROCESS MINING

Д.С. Кукуева¹, А.М. Тюнина¹, В.В. Кондусова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается применение технологии Process Mining для анализа эффективности процессов согласования документов. На основе данных из журналов событий информационных систем выполняется реконструкция реальных моделей процессов и анализ временных метрик (время выполнения, ожидания, процент возвратов). Предложенный подход позволяет объективно выявлять «узкие места» и истинные причины задержек, включая неравномерную нагрузку сотрудников и несовершенство регламентов. Результаты анализа служат основой для построения гибкой архитектуры системы с интеллектуальными бизнес-правилами: динамическим перераспределением задач, автоматическим назначением приоритетов и оптимизацией маршрутов согласования.

Ключевые слова: Process Mining, анализ временных метрик, согласование документов, бизнес-процессы, узкие места, журналы событий, оптимизация процессов, интеллектуальные бизнес-правила

ANALYSIS OF TIME METRICS IN DOCUMENT APPROVAL PROCESSES: IDENTIFYING "BOTTLENECKS" BASED ON PROCESS MINING

D.S. Kukueva¹, A.M. Tyunina¹, V.V. Kondusova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the use of Process Mining technology to analyze the effectiveness of document approval processes. Based on data from the event logs of information systems, real process models are reconstructed and time metrics are analyzed (execution time, waiting times, percentage of returns). The proposed approach allows us to objectively identify "bottlenecks" and the true causes of delays, including uneven workload of employees and imperfect regulations. The results

of the analysis serve as the basis for building a flexible system architecture with intelligent business rules: dynamic task reallocation, automatic prioritization, and optimization of alignment routes.

Keywords: Process Mining, time metric analysis, document reconciliation, business processes, bottlenecks, event logs, process optimization, intelligent business rules

В современных организациях процесс согласования документов часто напоминает «черный ящик». Известны точки входа и выхода, но что происходит внутри – остается загадкой. Руководители фиксируют общее время согласования, которое нередко превышает плановые показатели, однако ответ на ключевой вопрос остается неясным: где именно в цепочке возникают задержки? Виной ли тому сложность документа, чрезмерная загрузка конкретного сотрудника, несовершенство регламента или системные организационные проблемы? Традиционные методы анализа, основанные на опросах и выборочных проверках, дают субъективную и неполную картину.

Решением этой проблемы является применение технологий Process Mining (добычи процессов). Данный подход предлагает переход от предположений к фактам, от субъективных оценок к объективной картине. Его суть заключается в автоматическом восстановлении реальных моделей бизнес-процессов на основе «цифровых следов», которые системы (ECM, BPM, CRM) фиксируют в журналах событий. Каждая запись в таком журнале содержит информацию: какой документ, каким сотрудником, на каком этапе (например, «отправлен на согласование», «возвращен с замечаниями», «утвержден») и в какое время был обработан. [1]

Используя эти данные, Process Mining-алгоритмы визуализируют фактический маршрут движения документа, который может кардинально отличаться от регламентированного. Но главная сила подхода – в глубоком анализе временных метрик. Он позволяет не просто увидеть путь, но и измерить его:

Анализ времени выполнения: Расчет среднего и максимального времени выполнения на каждом этапе, между двумя конкретными исполнителями, для разных типов документов.

Анализ времени ожидания: Определение, сколько часов или дней документ простаивает во «входящих» у каждого участника, что напрямую указывает на потенциальную перегрузку или низкий приоритет задачи.

Анализ процента возвратов и цикличности: Выявление этапов, с которых документы чаще всего возвращаются на доработку, создавая петли и многократно увеличивая общее время согласования. [2]

Сравнение с регламентом и выявление отклонений: Автоматическое обнаружение случаев, когда документ пошел по нестандартному маршруту, был согласован не в той последовательности или с привлечением непредусмотренных лиц.

Результатом такого анализа становится объективная карта «узких мест» процесса. Например, исследование может выявить, что 40% от общего времени задержек создает один конкретный отдел, не из-за сложности задач, а из-за неоптимального распределения нагрузки внутри него. Или окажется, что сложные хозяйственные договоры согласуются в 3 раза дольше типовых именно из-за двух-трех этапов юридической проверки с высоким процентом возвратов. Process Mining может показать, что значительное время теряется не на саму работу, а на ожидание между формальными этапами из-за устаревшего регламента. [3]

Эти данные имеют прямую практическую ценность для проектирования и настройки гибкой архитектуры информационных систем. Они становятся основой для формирования интеллектуальных бизнес-правил:

1. Динамическое перераспределение нагрузки: Система может автоматически перенаправлять задачи согласования от перегруженных сотрудников к их менее загруженным коллегам с аналогичной компетенцией, сокращая время ожидания.

2. Автоматическое назначение приоритетов: Документы определенных типов (например, с длительным циклом согласования в прошлом) или от ключевых контрагентов могут получать повышенный приоритет в маршруте.

3. Оптимизация маршрутов: На основе данных о фактическом прохождении для разных категорий документов могут быть созданы упрощенные или, наоборот, расширенные маршруты, исключающие лишние или добавляющие необходимые этапы проверки.

4. Прогнозная аналитика: По мере накопления данных появляется возможность прогнозировать общее время согласования для нового документа на основе его атрибутов и текущей загрузки участников процесса.

Таким образом, анализ временных метрик через призму Process Mining переводит управление процессами согласования из области административного контроля в область доказательной оптимизации. Он позволяет не гадать о причинах проблем, а точно диагностировать их, превращая данные о прошлой работе в эффективные правила для будущих операций, делая бизнес-процессы более прозрачными, быстрыми и адаптивными.

Список литературы

1. Парамонов, А. А. Исследование структуры тропического циклона на основе анализа данных спутникового видеоряда с применением метода почти периодического анализа / А. А. Парамонов, А. В. Калач, А. С. Кравченко // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.
2. Менщикова, А. А. Process mining: технология эффективного анализа процессов на примере журнала событий образовательного учреждения / А. А. Менщикова, М. Г. Доррер // Аллея науки. – 2018. – Т. 1, № 6(22). – С. 1034-1040. – EDN XTRCUP.
3. Дорофеев, А. Н. Использование process Mining и контрольных карт для повышения надежности автомобильных грузовых перевозок / А. Н. Дорофеев, В. М. Курганов, М. В. Грязнов // Информационные технологии и инновации на транспорте : Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Орел, 18–19 мая 2021 года. Том 1. – Орел: Орловский государственный универси, 2021. – С. 16-27. – EDN ZCSXDZ.

References

1. Paramonov, A. A. Investigation of the structure of a tropical cyclone based on the analysis of satellite video data using the method of almost periodic analysis / A. A. Paramonov, A.V. Kalach, A. S. Kravchenko // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – PP. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.
2. Menshchikova, A. A. Process mining: a technology for effective process analysis using the example of an educational institution's event log / A. A. Menshchikova, M. G. Dorrer // Alley of Science. – 2018. – Vol. 1, No. 6(22). – pp. 1034-1040. – EDN XTRCUP.
3. Dorofeev, A. N. The use of process Mining and control maps to improve the reliability of road freight transportation / A. N. Dorofeev, V. M. Kurganov, M. V. Gryaznov // Information technologies and innovations in transport : Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. In 2 volumes, Orel, May 18-19, 2021. Volume 1. – Orel: Orel State University, 2021. – pp. 16-27. – EDN ZCSXDZ.

КАК ПРАВИЛЬНО СЕГМЕНТИРОВАТЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ: СРАВНИВАЕМ АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ БИЗНЕС-ЗАДАЧ

Д.С. Кукуева¹, А.М. Тюнина¹, В.В. Кондусова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится сравнение трех алгоритмов кластеризации - K-Means, DBSCAN и иерархической кластеризации - для решения задачи сегментации пользователей цифровых сервисов. На основе экспериментов с синтетическими и реальными данными оценивается их эффективность, устойчивость к шуму, скорость работы и интерпретируемость результатов. Показано, что выбор алгоритма зависит от структуры данных и бизнес-целей, а ключевым фактором успеха является качественная предобработка данных.

Ключевые слова: сегментация пользователей, кластерный анализ, K-Means, DBSCAN, иерархическая кластеризация, машинное обучение без учителя, поведенческий анализ, анализ данных, сравнительный анализ алгоритмов

HOW TO SEGMENT USERS CORRECTLY: COMPARING CLUSTERING ALGORITHMS FOR BUSINESS TASKS

D.S. Kukueva¹, A.M. Tyunina¹, V.V. Kondusova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article compares three clustering algorithms - K-Means, DBSCAN and hierarchical clustering - to solve the problem of segmentation of users of digital services. Based on experiments with synthetic and real data, their effectiveness, noise tolerance, speed of operation, and interpretability of the results are evaluated. It is shown that the choice of an algorithm depends on the data structure and business goals, and high-quality data preprocessing is a key success factor.

Keywords: user segmentation, cluster analysis, K-Means, DBSCAN, hierarchical clustering, unsupervised machine learning, behavioral analysis, data analysis, comparative analysis of algorithms

Эра цифровой экономики перенесла центр конкуренции из плоскости функциональности продукта в плоскость качества пользовательского опыта. Современные потребители ожидают от сервисов не просто исполнения базовых функций, но и глубокой персонализации, которая проявляется в релевантном контенте, своевременных предложениях и адаптивном интерфейсе. Основой для построения таких интеллектуальных систем является сегментация - разделение неоднородной массы пользователей на однородные группы (сегменты) со схожими характеристиками, потребностями и моделями поведения.

Традиционные методы сегментации, основанные на демографических или географических признаках, уступают в эффективности поведенческому анализу, который оперирует цифровыми следами пользователя: историей посещений, паттернами взаимодействия с интерфейсом, предпочтениями в контенте. Обработка этих больших, многомерных и зашумленных массивов данных требует применения формальных математических методов, среди которых кластерный анализ занимает центральное место. Кластеризация, как задача машинного обучения без учителя, позволяет обнаружить скрытые структуры и закономерности в данных без привлечения заранее размеченных примеров.

Однако разнообразие алгоритмов кластеризации и их принципиально разные теоретические основания ставят перед аналитиком сложный выбор. Наивное применение наиболее популярного метода K-Means к данным сложной структуры может привести к методически неверным и практически бесполезным результатам. Таким образом, возникает необходимость в системном сопоставлении, которое бы учитывало не только абстрактное качество кластеризации, но и операциональные характеристики алгоритмов в условиях, максимально приближенных к реальным бизнес-задачам.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа трех широко распространенных алгоритмов кластеризации - K-Means, DBSCAN и иерархической кластеризации - для решения задачи сегментации пользователей цифровых сервисов. Исследование ставит перед собой задачи: 1) оценить способность алгоритмов корректно восстанавливать кластеры разной формы на синтетических данных; 2) протестировать их эффективность на реальных поведенческих данных; 3) сравнить по ключевым практико-ориентированным критериям; 4) сформулировать обоснованные рекомендации по выбору алгоритма в зависимости от специфики данных и бизнес-целей.

K-Means - итеративный центроидный алгоритм, целью которого является минимизация суммарного квадрата расстояний от точек кластера до его центра

(инерции). Пользователь задает параметр K - количество кластеров. Алгоритм начинается со случайной инициализации центров, затем на каждом шаге присваивает точки ближайшему центру и пересчитывает положение центров как среднее арифметическое точек кластера. Процесс продолжается до стабилизации. Его сильные стороны - простота, скорость и масштабируемость. Слабые - чувствительность к начальной инициализации, необходимость заранее задавать K , предположение о сферичности и одинаковом размере кластеров, высокая уязвимость к выбросам. [1]

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) - алгоритм, основанный на понятии плотности. Он не требует задания числа кластеров, вместо этого использует два параметра: ϵ (эпсилон) - радиус окрестности, и minPts - минимальное количество точек в этой окрестности. Точки делятся на три типа: ядерные (имеющие не менее minPts соседей в ϵ -окрестности), достижимые (находящиеся в окрестности ядерной) и шумовые. Кластер формируется из плотно связанных ядерных и достижимых точек. Ключевые преимущества: способность находить кластеры произвольной формы, устойчивость к выбросам, автоматическое определение числа кластеров. Недостатки: сложность выбора параметров для данных с разной плотностью, снижение эффективности в высокомерных пространствах. [2]

Иерархическая кластеризация (агломеративный подход) - алгоритм, строящий древовидную структуру (дендрограмму), отражающую вложенность кластеров. Начинается с того, что каждая точка считается отдельным кластером. На каждом шаге два ближайших кластера объединяются. Процесс продолжается, пока все точки не окажутся в одном кластере. Расстояние между кластерами может вычисляться разными способами (одионочная, полная, средняя связь). Главное достоинство - наглядность дендрограммы, позволяющая выбрать уровень детализации и увидеть иерархию данных. Главный недостаток - высокая вычислительная сложность, делающая метод неприменимым к очень большим наборам данных.

Для всесторонней оценки были использованы два типа данных.

1. Синтетические данные. Сгенерированы с использованием библиотеки `'scikit-learn'` для создания контролируемых сценариев:

2. Реальные данные. Анонимизированная выборка из 15 000 активных пользователей медиасервиса за квартал. Признаки были предобработаны (нормализация, обработка пропусков) и включали:

Эксперименты на синтетических наборах наглядно выявили сильные и слабые стороны каждого подхода.

На наборе А (сферические кластеры) все три алгоритма показали хорошие результаты. К-Means продемонстрировал наивысший ARI (0.99), идеально восстановив кластеры. DBSCAN, при правильно подобранном ϵ , также достиг ARI 0.98, корректно отнеся шумовые точки в отдельную категорию. Иерархическая кластеризация (со средней связью) показала ARI 0.97. На этом простом примере К-Means был самым быстрым.

На наборе В (полумесяцы) результаты радикально разошлись. К-Means полностью провалился (ARI ~ 0.1), безуспешно пытаясь разделить данные на сферические группы. DBSCAN блестяще справился с задачей (ARI 0.99), четко выделив оба невыпуклых кластера и весь шум. Иерархическая кластеризация показала промежуточный, но неудовлетворительный результат (ARI ~ 0.6), так как на ранних шагах начала объединять точки из разных, но близких в пространстве полумесяцев. [3]

На наборе С (концентрические кольца) ситуация повторилась. К-Means и иерархический метод оказались неспособны разделить кольца, так как основываются на евклидовой близости, а точки соседних колец близки друг к другу. DBSCAN вновь показал превосходный результат, корректно идентифицировав три отдельных кольца как плотностные кластеры.

Применение алгоритмов к реальным данным потребовало дополнительных шагов по настройке и интерпретации.

К-Means был запущен с $K=5$, определенным по методу локтя. Время выполнения составило менее 2 секунд. Силуэтный коэффициент равнялся 0.52, что указывает на среднее качество разделения. Анализ центроидов позволил выделить сегменты: «Эпизодические пользователи», «Регулярные читатели новостей», «Вечерние развлекатели». Однако алгоритм «размазал» небольшую группу сверхактивных пользователей по нескольким кластерам, исказив их профили. [4]

DBSCAN (с параметрами $\epsilon=0.3$, $\text{minPts}=15$) выделил 4 плотных кластера и отнес около 8% точек к шуму. Силуэтный коэффициент для основных кластеров был выше - 0.61. Выделенные группы оказались более однородными и чистыми: например, четко обособился кластер «Спортивные фанаты на десктопе» с высокой концентрацией на спортивном контенте и активностью только с компьютеров. Группа, отнесенная к шуму, при ручном анализе оказалась смесью технических ботов и уникальных пользователей с нетипичным поведением, что является

ценной находкой для службы безопасности. Основным недостатком стала длительная ручная настройка параметров.

Иерархическая кластеризация (метод Уорда) оказалась самой медленной (около 90 секунд). По дендрограмме был выбран уровень отсечения, давший 6 кластеров. Силуэтный коэффициент был низким (0.44), что свидетельствует о плохой разделимости полученных групп. Однако визуализация в виде дендрограммы позволила легко идентифицировать два крупных макро-сегмента («Пассивная аудитория» и «Активная аудитория») и увидеть их внутреннюю структуру, что ценно для стратегического анализа.

Проведенный сравнительный анализ убедительно доказывает, что не существует «лучшего» алгоритма кластеризации в абсолютном смысле. Его выбор является важным проектировочным решением, которое должно основываться на глубоком понимании природы данных и четко сформулированной бизнес-цели.

Таким образом, процесс сегментации следует рассматривать как комплексную аналитическую цепочку, где выбор алгоритма кластеризации является одним из завершающих, а не стартовых шагов. Инвестиции времени в исследование данных, их очистку и конструирование признаков обеспечивают большую отдачу, чем поиск мифического «самого точного» алгоритма. Комбинация разных методов (например, использование DBSCAN для очистки данных от шума с последующей кластеризацией очищенного набора с помощью K-Means) часто дает наилучший практический результат, позволяя строить robust и интерпретируемые модели пользовательских сегментов.

Список литературы

1. Волкова, Е. Е. Особенности поведения российских потребителей в возрасте 18-23 лет на рынке цифрового музыкального контента / Е. Е. Волкова // Hypothesis. – 2018. – № 2(3). – С. 33-40. – EDN LIWTSS.
2. Прокопенко, Н. Ю. Применение Loginom для оптимизации процессов управления товарными запасами предприятий малого и среднего бизнеса / Н. Ю. Прокопенко, Д. В. Тришин // Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов : Сборник статей / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Том ВЫПУСК 21. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 216-222. – EDN TLNXXH.

3. Витяев, Е. Е. Семантический вероятностный вывод предсказаний / Е. Е. Витяев // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Математика. – 2017. – Т. 21. – С. 33-50. – DOI 10.26516/1997-7670.2017.21.33. – EDN ZFOTBF.

4. Сумин, В. И. Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур / В. И. Сумин, А. С. Дубровин, И. С. Кущева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83. – EDN ISTAML.

References

1. Volkova, E. E. Recognition of the ruler of Russia at the age of 18-23 in the music content market / E. E. Volkova // Hypothesis. – 2018. – № 2(3). – Pp. 33-40. – EDN LIVTS.

2. Prokopenko, N. Y. The use of login for optimizing inventory management processes of small and medium-sized businesses / N. Y. Prokopenko, D. V. Trishin // Interuniversity collection of articles by laureates of competitions : Collection of articles / Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. VOLUME ISSUE 21. Nizhny Novgorod : Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2021. pp. 216-222. EDN TLNXXXX.

3. Vityaev, E. E. Semantic probabilistic prediction inference / E. E. Vityaev // Izvestiya Irkutsk State University. Series: Mathematics. – 2017. – Vol. 21. – pp. 33-50. – DOI 10.26516/1997-7670.2017.21.33. – ZFOTBF PUBLISHING HOUSE.

4. Sumin, V. I. Features of the selection of members of the expert group for the analysis of the functioning of a complex organizational system of law enforcement agencies / V. I. Sumin, A. S. Dubrovin, I. S. Kushcheva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 77-83. – In doi 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83. – EDN ISTAML.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ: КАК ПРИНИМАТЬ РЕШЕНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

И.А. Куликов¹, Д.А. Седых¹, С.П. Дудник¹, П.Д. Вытовтов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к системному анализу и моделированию процессов принятия решений в сложных организационных системах. Проведен анализ методов: метод анализа иерархий, ситуационное моделирование и экспертные системы. Особое внимание уделено проблемам формализации целевых установок и выбора оптимальных управленческих решений. Рассмотрены перспективные направления интеграции методов в автоматизированные системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: системный анализ, принятие решений, моделирование, метод анализа иерархий, экспертные оценки.

SYSTEM ANALYSIS IN MANAGEMENT: HOW TO MAKE DECISIONS IN COMPLEX SYSTEMS

I.A. Kulikov¹, D.A. Sedykh¹, S.P. Dudnik¹, P.D. Vytovtov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses modern approaches to system analysis and modeling of decision-making processes in complex organizational systems. The analysis of methods is carried out: the analytic hierarchy process, situational modeling and expert systems. Special attention is paid to the problems of formalizing target settings and choosing optimal management solutions. Promising directions for integrating methods into automated decision support systems are considered.

Keywords: system analysis, decision making, modeling, analytic hierarchy process, expert assessments.

Введение

В современных условиях управление организационными системами (ОС) становится всё более сложной задачей. Такая тенденция обусловлена увеличением числа взаимосвязей между элементами систем, высокой динамичностью

внешней среды и необходимостью поиска баланса между противоречивыми критериями при выработке управленческих решений. Руководители различных уровней ежедневно решают задачу выбора наилучшего варианта действий в ситуациях, когда исходные данные часто являются неполными либо противоречивыми, а принимаемые решения способны повлечь значительные последствия.

Базой для решения подобных задач выступает системный анализ – методологический подход, позволяющий структурировать проблему, декомпозировать её на составные части и выбирать адекватные способы её разрешения [1]. В отличие от интуитивных методов, системный анализ опирается на научные принципы, что способствует повышению прозрачности и объективности процесса принятия решений.

Современные условия диктуют необходимость решения ряда сложных проблем, среди которых:

- ограниченность и низкая достоверность исходных данных;
- субъективизм мнений экспертов и лиц, принимающих решения;
- трудности формализации качественных целей;
- наличие множества критериев, нередко противоречащих друг другу;
- постоянная изменчивость внешней среды и необходимость учёта будущих трендов.

Для преодоления указанных препятствий широко применяются методы математического моделирования и имитационного анализа. Они позволяют проигрывать различные сценарии развития ситуации и оценивать возможные последствия без риска для реальной системы [2]. Такой подход даёт возможность проверять гипотезы на виртуальных моделях – что особенно актуально в случаях, когда экспериментирование на реальных объектах затруднено либо сопряжено с высокими затратами.

Цель исследования – всестороннее рассмотрение современных методик системного анализа и моделирования, используемых в сфере поддержки управленческих решений, выявление их сильных и слабых сторон, а также определение перспективных направлений их развития и практического внедрения.

Теоретические основы системного анализа

Системный анализ представляет собой научный метод, направленный на исследование сложных систем путём выявления взаимосвязей между их элементами и оценки влияния этих связей на общее состояние объекта. В числе основных принципов данного метода можно выделить следующие.

– Целостность. Система трактуется как единое образование, свойства которого не сводятся к сумме свойств составляющих её компонентов.

– Иерархичность. Любой объект может быть рассмотрен как часть более крупной системы, а сама система – как элемент вышестоящего уровня.

– Структурированность. Анализу подвергается внутреннее устройство элементов и характер связей между ними.

– Множественность представлений. Для полноценного понимания сложных систем строится множество их моделей, отражающих различные аспекты.

– Динамичность. Системы развиваются во времени, и учёт их изменений является обязательным условием анализа.

Этапы проведения системного анализа

Практическая реализация системного анализа включает последовательное выполнение следующих этапов:

1. Определение проблемы – формулировка целей и границ исследования.
2. Структурирование системы – выделение элементов и связей между ними.
3. Моделирование – создание формализованных описаний системы.
4. Анализ моделей – проведение экспериментов и изучение поведения системы в различных условиях.
5. Оценка вариантов – сравнение решений по выбранным критериям.
6. Выбор решения – определение наиболее подходящей альтернативы.
7. Анализ последствий – прогнозирование влияния выбранного варианта на систему.

Основные методы системного анализа в задачах управления

Метод анализа иерархий (МАИ)

Этот метод, разработанный в 1970-х годах американским ученым Томасом Саати, широко применяется при решении задач с несколькими критериями. Он позволяет разбивать проблему на иерархические уровни, сравнивать альтернативы по каждому из них и формировать приоритеты.

Этапы АИП включают:

- Создание иерархической модели (цель, критерии, альтернативы);
- Попарное сравнение элементов каждого уровня;
- Расчет локальных приоритетов;

- Проверка согласованности суждений;

Однако, как отмечается в статье В. Г. Горбунова «Сравнительный анализ методов «Прометей» и нечетких отношений в условиях принятия решений», классический АИП имеет ограничения, связанные с обработкой локальных приоритетных векторов. [3] В этой статье также рассматриваются модификации, повышающие точность результатов, что особенно важно в задачах, требующих высокой надежности. Этот метод успешно применяется при выборе стратегии развития, распределении ресурсов и оценке кадрового потенциала, особенно при наличии качественных критериев.

Моделирование сценариев (ситуационное моделирование)

Этот подход используется для анализа функционирования сложных систем в условиях неопределенности и внешних воздействий. Он позволяет разрабатывать возможные сценарии развития событий и оценивать устойчивость системы к различным возмущениям.

Ключевые этапы:

1. Идентификация возможных ситуаций и факторов неопределенности.
2. Построение модели, описывающей поведение системы в различных условиях.
3. Генерация сценариев развития событий.
4. Оценка последствий реализации каждого сценария.
5. Разработка рекомендаций по действиям в различных ситуациях.

Сумин, В. И. в своих статьях подчеркивает значимость формализации целей и построения сетевых моделей, связывающих цели, ресурсы и возможные действия. Такой подход позволяет не только реагировать на текущие проблемы, но и предвидеть негативные сценарии, что повышает эффективность управленческих решений. [4, 5]

Экспертные системы и методы обработки экспертной информации

Качественное решение во многом зависит от компетентности лиц, принимающих решения, и привлеченных экспертов. В этой связи актуально использование методов формирования экспертных групп. В исследовании Сумина, В. И. «Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур» анализируются осо-

бенности подбора участников, что влияет на точность итоговых оценок. Неправильный подбор экспертов может нивелировать преимущества даже самых современных методов анализа данных. [6]

Таблица 1 – Детальное сравнение методов моделирования процессов принятия решений

Метод	Область применения	Преимущества	Недостатки	Необходимые ресурсы
Аналитический иерархический процесс	Многокритериальный выбор, ранжирование альтернатив	Наглядность, возможность учета качественных факторов, встроенная проверка согласованности	Субъективизм попарных сравнений, трудоемкость при большом числе альтернатив	Эксперты, программное обеспечение для расчетов
Моделирование сценариев	Анализ сценариев, управление в реальном времени, стратегическое планирование	Учет динамики и неопределенности среды, возможность проигрывания "что-если" сценариев	Высокая сложность разработки моделей, необходимость в квалифицированных аналитиках	Специализированное ПО, базы данных, эксперты
Экспертные системы	Диагностика, прогнозирование, консультирование	Использование накопленных знаний, постоянная доступность, документирование логики вывода	Узкая специализация, сложность адаптации к новым ситуациям, трудоемкость извлечения знаний	Инженеры по знаниям, эксперты предметной области
Имитационное моделирование	Исследование сложных динамических систем, оптимизация процессов	Высокая наглядность, возможность учета стохастичности, эксперименты без риска	Требует много времени на разработку, сложность верификации	Мощные компьютеры, специализированное ПО

Для обработки экспертных мнений используют различные методы:

- Статистические – расчет средних значений, коэффициентов согласованности.
- Методы ранжирования – учет порядка предпочтений.
- Нечеткая логика – работа с лингвистическими переменными, например, «высокий риск» или «низкая вероятность».

Моделирование в автоматизированных системах поддержки решений

Понятие и архитектура СППР

Интеграция рассмотренных методов в единую информационную среду приводит к созданию автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР). Такие системы не только предоставляют ЛПР необходимую информацию, но и выполняют расчеты по моделям, предлагая оптимальные или рациональные варианты решений.

Современные СППР состоят из следующих компонентов:

- База данных – хранит информацию о текущем состоянии системы.
- База моделей – содержит математические, имитационные и другие модели.
- Интерфейс пользователя – обеспечивает удобное взаимодействие ЛПР с системой.
- Подсистема вывода – реализует алгоритмы поиска решений.
- Подсистема объяснений – поясняет, почему предложен тот или иной вариант.

Примеры практического применения

Примером успешного применения системного анализа может служить алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план», описанная в статье М. В. Юрчишиной «Алгоритмическая модель СППР “Оптимальный учебный план”». Данная система позволяет решать сложную задачу распределения учебной нагрузки и формирования расписания с учетом множества ограничений и предпочтений. Вузы ежегодно сталкиваются с необходимостью составления расписания для тысяч студентов и сотен преподавателей. Ручное решение этой задачи практически невозможно, а использование СППР позволяет найти компромиссный вариант, удовлетворяющий большинство участников процесса. [7]

Другой пример – разработка интеллектуальных систем управления качеством на предприятиях, описанных в статье С.М. Бантюкова «Создание интеллектуальной системы управления качеством предприятия «Эталон» в авиационной промышленности», где моделирование позволяет отслеживать отклонения параметров продукции и своевременно корректировать технологические процессы. В авиационной промышленности, где цена ошибки особенно высока, такие системы позволяют выявлять потенциальные дефекты на ранних стадиях производства. [8],

Существенной характеристикой подобных систем выступает их архитектура. В настоящее время СППР всё чаще проектируются на основе сервис-ориентированной архитектуры (Service-Oriented Architecture, SOA), что обеспечивает им масштабируемость и гибкость. Такие системы интегрируются с действующими учётными системами (ERP, CRM), извлекая из них необходимую для анализа информацию. Параллельно активно развиваются веб-ориентированные решения, благодаря которым управление системами становится возможным через интернет с любых устройств.

Проблемы и ограничения системного анализа

Теоретические проблемы

Несмотря на значительные успехи в области моделирования систем, существует ряд проблем, требующих дальнейшего изучения:

1. Проблема верификации и валидации моделей. Насколько точно модель отражает реальность и можно ли доверять полученным с ее помощью прогнозам? Верификация проверяет, правильно ли реализована модель (соответствует ли замыслу), а валидация – соответствует ли модель реальному миру. Для сложных систем полная валидация часто невозможна.

2. Проблема сложности. Стремление учесть все факторы приводит к чрезмерно сложным моделям, которые трудно понять и использовать. С другой стороны, слишком простые модели могут упускать существенные аспекты.

3. Проблема неопределенности. Многие параметры систем известны лишь приблизительно или могут меняться со временем. Как учитывать эту неопределенность при принятии решений?

Практические проблемы

На практике специалисты сталкиваются с такими трудностями, как:

- Нехватка данных – для точных расчетов нужны большие объемы качественных данных, которые часто отсутствуют [9].
- Сопротивление персонала – люди могут не доверять компьютерным рекомендациям или саботировать внедрение новых методов.
- Высокая стоимость – разработка и внедрение сложных систем анализа требует значительных затрат.
- Быстрое устаревание – модели, построенные на данных прошлых периодов, могут быть неприменимы в быстро меняющихся условиях.

Перспективные направления развития

Искусственный интеллект и машинное обучение

Одним из наиболее перспективных направлений является использование методов искусственного интеллекта, особенно машинного обучения, для автоматического выявления скрытых закономерностей в данных и пополнения базы знаний экспертных систем. Нейронные сети способны находить сложные нелинейные зависимости, а технологии глубокого обучения позволяют работать с неструктурированными данными – изображениями, текстами, звуковыми сигналами, что значительно расширяет возможности анализа.

Гибридные методы

Развиваются гибридные решения, сочетающие несколько подходов: аналитические модели и имитационное моделирование, экспертные оценки и анализ данных, оптимизацию и машинное обучение. В статьях «Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала и Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах» показано, что комбинирование различных методов позволяет компенсировать слабые стороны каждого из них и получать более надежные и точные решения для управления сложными системами. [10, 11]

Виртуальные копии (цифровые двойники)

Концепция цифровых двойников становится все более популярной. Это виртуальные модели реальных объектов или процессов, которые постоянно синхронизируются с физическими системами через датчики. Такие двойники позволяют прогнозировать состояние системы и управлять ей в реальном времени, что уже широко используется в промышленности, логистике и энергетике, и начинает проникать в сферу управления организационными структурами.

Когнитивные технологии

Когнитивные системы, которые имитируют человеческое мышление, становятся важным направлением развития. Они способны понимать язык, учиться в процессе работы, формулировать гипотезы и предлагать инновационные решения. Внедрение когнитивных технологий в системы анализа расширяет их возможности и позволяет получать более неочевидные инсайты.

Заключение

Анализ систем и моделирование – важнейшие инструменты повышения эффективности управления сложными организациями. Методы, такие как аналитический иерархический процесс, сценарное моделирование и экспертные системы, позволяют структурировать задачи и находить обоснованные решения в условиях многокритериальности и неопределенности.

Ключевые выводы:

1. Системный анализ предоставляет методологическую основу для решения сложных управленческих задач, позволяя разбивать их на более простые компоненты.
2. Существует широкий спектр методов моделирования, каждый из которых имеет свою область применения, преимущества и недостатки.
3. Интеграция этих методов в современные СППР открывает новые возможности для автоматизации управленческого труда и повышения качества принимаемых решений.
4. На пути применения системного анализа существуют как теоретические, так и практические проблемы, требующие дальнейших исследований.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на:

- совершенствование математического аппарата, особенно в части работы с неопределенностью;
- разработку эффективных методов верификации и валидации сложных моделей;
- активное внедрение технологий искусственного интеллекта для адаптации систем к изменяющимся условиям;
- создание доступных инструментов, которые могли бы использовать не только специалисты, но и руководители-практики.

Системный анализ не заменяет человеческую интуицию и опыт, но вооружает руководителя надежным инструментарием, позволяющим принимать более

обоснованные и взвешенные решения. В условиях растущей сложности современного мира значение системного подхода будет только возрастать.

Список литературы

1. Шагеев, Д. А. Поиск решения проблемы выбора формы свёртки локальных векторов с целью повышения точности измерений в методе анализа иерархий / Д. А. Шагеев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 95-105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103.
2. Высоцкая, И. А. Поиск множества допустимых управленческих решений в технических системах / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 35-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42.
3. Горбунов, В. Г. Сравнительный анализ методов «Прометей» и нечетких отношений в условиях принятия решений / В. Г. Горбунов, О. Л. Бордюжа, А. А. Пак // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 42-56. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-42-56.
4. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77.
5. Сумин, В. И. Разработка сетевой модели целевых установок сложных организационных систем специального назначения / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, С. В. Родин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85.
6. Сумин, В. И. Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур / В. И. Сумин, А. С. Дубровин, И. С. Кущева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83.
7. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

8. Бантюков, С. М. Создание интеллектуальной системы управления качеством предприятия «Эталон» в авиационной промышленности / С. М. Бантюков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23.
9. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102.
10. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
11. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А. В. Скрыпников, И. А. Высоцкая, С. А. Евдокимова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128.

References

1. Shageev, D. A. Search for a Solution to the Problem of Choosing the Form of Convolution of Local Vectors to Improve Measurement Accuracy in the Analytic Hierarchy Process / D. A. Shageev // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 95-105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103.
2. Vysotskaya, I. A. Search for a Set of Acceptable Management Decisions in Technical Systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 35-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42.
3. Gorbunov, V. G. Comparative Analysis of the "Promethee" Methods and Fuzzy Relations in Decision-Making Conditions / V. G. Gorbunov, O. L. Bordyuzha, A. A. Pak // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 42-56. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-42-56.
4. Sumin, V. I. The Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A. V. Tolkachev // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77.
5. Sumin, V. I. Development of a Network Model of Target Settings for Complex Organizational Systems of Special Purpose / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko,

S. V. Rodin // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85.

6. Sumin, V. I. Features of Selecting Members of an Expert Group for Analyzing the Functioning of a Complex Organizational System of Power Structures / V. I. Sumin, A. S. Dubrovin, I. S. Kushcheva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83.

7. Yurchishina, M. V. Algorithmic Model of the DSS "Optimal Curriculum" / M. V. Yurchishina, K. I. Bushmeleva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

8. Bantyukov, S. M. Creation of an Intelligent Quality Management System for the "Etalon" Enterprise in the Aviation Industry / S. M. Bantyukov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23.

9. Mochalov, V. P. Algorithm for Dynamic Distribution and Load Balancing in Distributed Cloud Computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, D. V. Gosteva // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102.

10. Nikolenko, S. D. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures / S. D. Nikolenko, S. P. Kozodaev, S. A. Sazonova // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

11. Skrypnikov, A. V., Vysotskaya, I. A., Evdokimova, S. A. et al. Selection of Optimality Criteria in Making Management Decisions in Complex Technical Systems // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕЛОВЫХ ОТХОДОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛОТНОЙ УКЛАДКИ

И.С. Кущева¹, Е.С. Хухрянская¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается возможность использования обрезных элементов в проектировании модульной геометрической укладки. Определены критерии деловых отходов, по которым элементы можно сохранять для дальнейшего использования. Приведен алгоритм выборки детали по требуемым характеристикам.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, автоматизация проектирования, оптимизация, размещение объектов, выбор объектов, плотная упаковка.

USING BUSINESS WASTE IN DENSE STACKING DESIGN

I.S. Kushcheva¹, E.S. Khukhryanskaya¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies Named after G.F. Morozov

Abstract. The paper considers the possibility of using edged elements in the design of modular geometric packaging. Business waste criteria have been defined for which items can be saved for future use. The part selecting algorithm for according to the required characteristics is given.

Keywords: geometric modelling, design automation, optimization, objects placement, objects selecting, dense stacking.

Введение

Геометрическая укладка/упаковка элементов в виде регулярного рисунка в рамках плоского контейнера является сложной задачей [1], требующей существенных затрат временных и сырьевых ресурсов, поэтому в современном производстве, где возможно, происходит переход к модульному проектированию [2]. Основной идеей такого современного и технологичного подхода является разбиение общего решения на изотетичные блоки, в которых располагается единственный раппорт орнамента $\overline{Wr}$, а укладка происходит путем компоновки таких

блоков способом шип-паз или замок, при этом снижается сложность разработки и реализации задуманного проекта. Так, в проектировании напольных покрытий получил распространение модульный паркет, с одной стороны обладающий качеством наборного, а с другой стороны имеющий достаточно простую укладку. Для массового производства модуля/щита использование обрезных деталей в соседних модулях имеет рациональное значение [3, 4].

Особенности хранения и извлечения обрезных элементов в проектировании укладки

Деловые отходы можно рассматривать как нестандартные элементы [5], что приводит к двум подзадачам: хранение и извлечение.

При определении необходимости хранения обрезанного элемента d_i , $i=1,...,n$ для дальнейшего использования в будущих проектных решениях следует в первую очередь руководствоваться размером, анализируемого остатка, согласно условию

$$S_d \geq S_{\min},$$

где S_d – площадь, рассматриваемого элемента; $S_{\min}$ – площадь наименьшего элемента проекта, не является константой, ее величина зависит от номенклатуры проектных решений.

Площадь, как критерий, является основным, т.е. нецелесообразно оставлять элементы, не удовлетворяющие этому условию. Поверхность элементов раппорта может дополнительно иметь орнамент или особенности строения материала, поэтому важную роль в возможности дальнейшего использования обрезной детали d_i в последующих работах играет ее ориентация. Для определения ориентации элемента окно видимости $\overline{W}_{vis}$, соответствующее модулю с раппортом орнамента, дополняется подобластями ($k=1...8$), получаемыми продлением границ $\overline{W}_{vis}$ (рис. 1).

Необходимость обрезки детали проверяется по адаптированному к задаче алгоритму отсечения Кируса-Бека [6]. В зависимости от того, по границе какого из октантов было произведено усечение d_i , $i=1,...,n$, в соответствующий бит заносится единица: в первый – точка левее окна, во второй – точка правее окна, в третий – точка ниже окна, в четвертый – точка выше окна. В остальные разряды заносится нуль, таким образом, отсутствие единиц в коде соответствует полной

видимости объекта. В угловых сегментах 5-8 будет присутствовать наложение смежных областей, следовательно, код получается побитовым сложением.

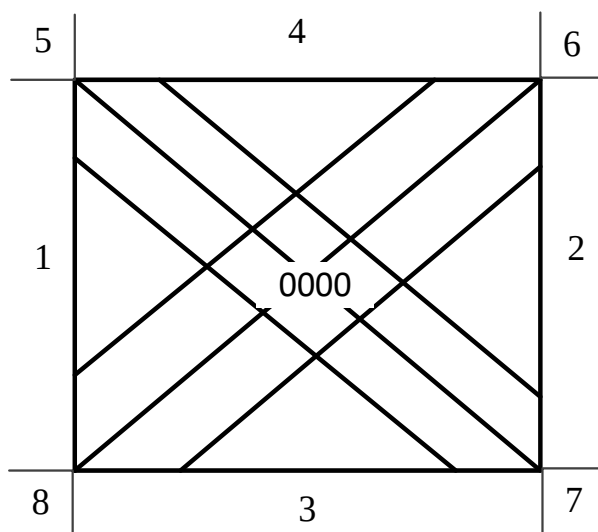


Рисунок 1 – Схема определения кода ориентации объекта

Таким образом, каждому усеченному элементу соответствует уникальный четырехразрядный битовый код, по которому происходит выбор объекта из хранилища. При поиске нужно учитывать возможность применения элемента с частично совпадающей ориентацией, при этом (рис. 1) усеченные элементы после зеркального отображения по вертикали, могут быть использованы с противоположной стороны модуля.

Если d_i , $i = 1, \dots, n$ по критериям площадь и ориентация соответствует запросу, то в дальнейшем происходит проверка совпадения линейных размеров.

Отметим, что возможно неполное совпадение по всем параметрам, для таких деталей может анализироваться целесообразность дальнейшей подгонки с учетом технологических ограничений.

Заключение

Таким образом, при хранении в базе данных остатки должны упорядочиваться и отбираться по следующим критериям [7]: площади, ориентации и линейным размерам. Алгоритм отбора по шагам выглядит следующим. На первом шаге происходит выбор элементов из хранилища по совпадению площади. На втором шаге в полученной выборке выполняется сверка ориентации детали. На третьем шаге проверяется эквивалентность конфигурации.

Список литературы

1. Бугаев, Ю. В. Анализ моделей и алгоритмов оптимизации раскроя одномерных лесоматериалов / Ю. В. Бугаев, Л. А. Коробова, И. Ю. Шурупова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 23-31. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-23-31. – EDN MRHWHP.
2. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBVHJO.
3. Кущева, И. С. Проблемы ресурсосбережения с учетом специфики некоторых задач двумерного размещения / И. С. Кущева, Е. С. Хухрянская // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14. – № 1. – С. 32-38.
4. Smirnov, A. Development of methodological provisions for rational material cutting in lean manufacturing at mechanical engineering enterprises / A. Smirnov, V. Kobzev, Ch. Nuralieva // Sustainable Development and Engineering Economics. – 2022. – № 4 (6). – С. 78-94.
5. Мезенцев, А.С. Интерпретация данных о деталях для алгоритмов решения задач двумерного раскроя-упаковки / А.С. Мезенцев, В.С. Шилов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. - 2013. - № 8. - С. 137-143.
6. Cyrus, M. Generalized two- and three-dimensional clipping / M. Cyrus, J. Beck// Computers & Graphics. –1978. – V. 3 (1) – P. 23–28.
7. Панюкова, Т. А. Оптимизация использования ресурсов при технологической подготовке процессов раскроя / Т. А. Панюкова // Прикладная информатика. – 2012. – № 3(39). – С. 82-94.

References

1. Bugaev, Yu.V. Analysis of models and algorithms for optimizing the cutting of one-dimensional timber / Yu.V. Bugaev, L.A. Korobova, I.Y. Shurupova // Modeling of systems and processes. – 2024. – V. 17, No 4. – P. 23-31. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-23-31. – EDN MRHWHP.
2. Sumin, V.I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V.I. Sumin, A.S. Kravchenko ,

A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes.. – 2024. – V. 17, No 3. – P. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

3. Kushcheva, I.S. The resource saving problems saving considering specifics of several 2d placement tasks / I.S. Kushcheva, E.S. Khukhryanskaya // Modeling of systems and processes. – 2021. – V. 14. – No 1. – P. 32-38.

4. Smirnov, A. Development of methodological provisions for rational material cutting in lean manufacturing at mechanical engineering enterprises / A. Smirnov, V. Kobzev, Ch. Nuralieva // Sustainable Development and Engineering Economics. – 2022. – No 4 (6). – P. 78-94.

5. Mezentsev, A.S. Interpretation of shape data for algorithms of solving two-dimensional layout tasks / A.S. Mezentsev, V.S. Shilov// PNRPU Bulletin. Electrical engineering, information technology, control systems. - 2013. - No 8. - P. 137-143.

6. Cyrus, M. Generalized two- and three-dimensional clipping / M. Cyrus, J. Beck// Computers & Graphics. –1978. – V. 3 (1) – P 23–28.

7. Panyukova, T.A. Optimization of resources usage for technological preprocessing of cutting process / T.A. Panyukova // Journal of Applied Informatics. – 2012. – No 3(39). – P. 82-94.

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ САХАРНОГО ДИАБЕТА

В.М. Леонов¹, С.Л. Сахаров¹

**¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»**

Аннотация. Логистическая регрессия является одним из наиболее распространённых методов анализа бинарных исходов в медицине и биологии. Метод обеспечивает вероятностную интерпретацию результата и позволяет оценивать вклад факторов риска через отношение шансов. В статье предложена воспроизводимая методика построения и валидации логистической модели для медицинских данных, включающая этапы предобработки, обучения и оценки качества по ROC-анализу и калибровке вероятностей. Практическая часть продемонстрирована на задаче прогнозирования сахарного диабета. Полученные результаты подтверждают пригодность логистической регрессии как интерпретируемого инструмента поддержки принятия медицинских решений.

Ключевые слова: логистическая регрессия, биостатистика, ROC-анализ, AUC, медицинские данные, факторы риска.

LOGISTIC REGRESSION MODEL FOR DIABETES MELLITUS PREDICTION

V.M. Leonov¹, S.L. Sakharov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Logistic regression is one of the most widely used methods for analyzing binary outcomes in medicine and biology. The method provides a probabilistic interpretation of the result and allows the contribution of risk factors to be assessed through the odds ratio. The paper proposes a reproducible methodology for constructing and validating a logistic model for medical data, including data preprocessing, model training, and quality assessment using ROC analysis and probability calibration. The practical application is demonstrated on the problem of diabetes mellitus prediction. The obtained results confirm the suitability of logistic regression as an interpretable tool for supporting clinical decision-making.

Keywords: logistic regression, biostatistics, ROC analysis, AUC, medical data, risk factors.

Введение

Медицинские исследования часто связаны с анализом бинарных исходов: наличия заболевания, развития осложнения, токсического эффекта или выживаемости пациента. В клинической практике важно не только отнести пациента к категории «здоров» или «болен», но и оценить вероятность наступления события, поскольку именно вероятность используется при принятии диагностических и профилактических решений.

Среди методов машинного обучения логистическая регрессия занимает особое место благодаря интерпретируемости параметров. Коэффициенты модели напрямую связаны с отношением шансов, что позволяет трактовать их как факторы риска. По этой причине метод широко применяется в эпидемиологии и доказательной медицине [3]. Одним из наиболее распространённых хронических заболеваний является сахарный диабет. Раннее выявление пациентов группы риска позволяет снизить частоту осложнений и повысить эффективность профилактических мероприятий [2].

Цель работы – построение и исследование логистической модели прогнозирования сахарного диабета.

Разработанная система относится к узконаправленным системам искусственного интеллекта, формирующим прогноз на основе входных данных, в соответствии с терминологией ГОСТ Р 71476-2024. Модель машинного обучения обучалась методом логистической регрессии на размеченных медицинских данных [7], после чего использовалась для вычисления вероятности наличия сахарного диабета у пациента по значениям признаков [8]. Таким образом, логистическая регрессия выступает алгоритмом обучения, а итоговая обученная модель выполняет функцию прогноза заболевания.

Материалы и методы

В работе использован открытый медицинский набор данных Pima Indians Diabetes Database. Выборка содержит 768 пациентов, из них 268 имеют диабет (34,9%), 500 – здоровы (65,1%). Используемые в модели клинические признаки представлены в таблице 1. Они отражают основные физиологические и демографические характеристики пациента, потенциально влияющие на риск развития сахарного диабета. Целевая переменная – наличие диабета.

Построение модели осуществлялось с позиций системного подхода, предполагающего формализацию структуры диагностической задачи и выделение значимых факторов риска [7].

Таблица 1 – Используемые признаки

Признак	Описание
Pregnancies	число беременностей
Glucose	уровень глюкозы
BloodPressure	артериальное давление
SkinThickness	толщина кожной складки
Insulin	уровень инсулина
BMI	индекс массы тела
DiabetesPedigreeFunction	наследственный фактор
Age	возраст

Данные и предобработка

При построении прогностической модели важно, чтобы этапы обработки данных не использовали информацию из тестовой выборки. Все операции, которые «настраиваются» по данным, выполняются только на обучающей части выборки. В противном случае возникает утечка информации, и качество модели оказывается завышенным [6]. Предобработка включает следующие этапы:

- определение единицы наблюдения (пациент, визит или анализ), чтобы не использовать показатели, измеренные после постановки диагноза;
- проверку допустимых диапазонов медицинских показателей;
- кодирование категориальных признаков при необходимости;
- масштабирование числовых признаков (особенно при использовании регуляризации).

В медицинских данных пропуски встречаются часто и обычно не являются случайными. Кроме явных отсутствующих значений возможны скрытые пропуски – физиологически невозможные показатели, например нулевой индекс массы тела или нулевая концентрация глюкозы. Такие значения рассматриваются как отсутствующие. Предобработка выполняется следующим образом:

- анализируется доля пропусков по каждому признаку;
- при небольшом числе пропусков допускается удаление наблюдений;
- при большем объеме используется заполнение пропусков, например медианой [7];
- при необходимости применяется более сложное множественное заполнение.

Поскольку число пациентов с заболеванием существенно меньше числа здоровых, метрика общей точности классификации не является информативной: модель может демонстрировать высокую точность при неудовлетворительном

выявлении больных. В связи с этим оценка проводилась по клинически значимым показателям. Использовалось взвешивание классов и подбор порога классификации с приоритетом чувствительности, а также анализ прогностической ценности положительного и отрицательного результатов.

При наличии сильной взаимосвязи признаков оценки коэффициентов логистической регрессии становятся нестабильными и затрудняют интерпретацию влияния факторов риска. Для выявления мультиколлинеарности анализировалась корреляция признаков и рассчитывался коэффициент инфляции дисперсии. При необходимости зависимые признаки исключались либо применялась регуляризация, стабилизирующая параметры модели [4].

Оценка качества модели

Основной характеристикой способности модели различать больных и здоровых пациентов является ROC-кривая и площадь под ней (AUC – *Area Under the Curve*) [5]. Значение AUC можно интерпретировать как вероятность того, что случайный пациент с заболеванием получит более высокий прогнозируемый риск, чем здоровый. Для более детальной оценки дополнительно рассчитываются чувствительность и специфичность, позволяющие определить, насколько хорошо модель выявляет заболевших и исключает здоровых [3]. Однако одной только способности различать классы недостаточно. В медицинских задачах важно, чтобы предсказанные вероятности соответствовали реальной частоте заболевания. Поэтому проводится калибровка модели: строится калибровочная кривая и вычисляется показатель Brier score (метрика качества вероятностных прогнозов). Даже при высоком значении AUC плохо откалиброванные вероятности могут привести к неверным клиническим решениям.

Надёжная оценка качества модели также требует корректной процедуры проверки. Простого разделения данных на обучающую и тестовую выборки недостаточно, поскольку результат может зависеть от конкретного разбиения. Поэтому используется кросс-валидация или bootstrap-валидация, позволяющие снизить риск переобучения и получить более устойчивые характеристики модели. Для оценки способности модели различать пациентов с заболеванием и без него была построена ROC-кривая (рисунок 1).

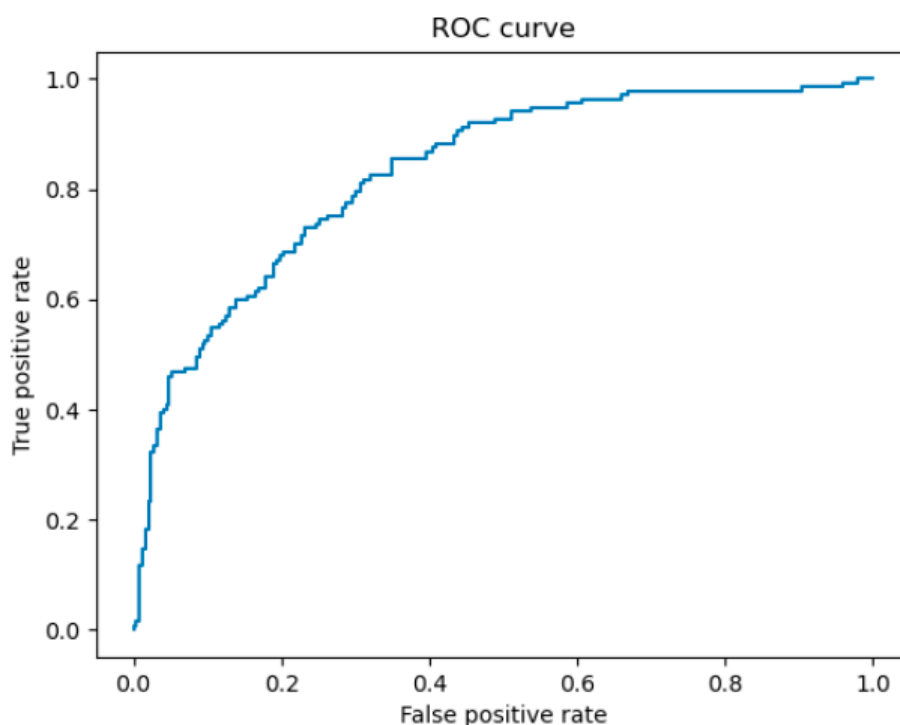


Рисунок 1 – ROC-кривая модели прогнозирования сахарного диабета

Из рисунка 1 и таблицы 2 следует, что модель обеспечивает приемлемое разделение пациентов по наличию заболевания, что подтверждается значением площади под ROC-кривой. Верификация модели заключалась в подтверждении корректности реализации алгоритма обучения и вычислений: проверялась корректность подготовки выборок, устойчивость обучения при повторных запусках и воспроизводимость получаемых параметров модели. Валидация проводилась с точки зрения соответствия модели поставленной медицинской задаче прогнозирования заболевания. Для этого применялась перекрестная проверка и анализ способности модели корректно разделять пациентов на группы риска.

Оценка качества выполнялась на основе метрик дискриминационной способности и калибровки вероятностей. Использовались ROC-AUC, чувствительность, специфичность, доля правильных классификаций и показатель Brier score. Такой подход позволяет оценить, как способность модели различать классы, так и точность вероятностных прогнозов. Количественные показатели качества классификации представлены в таблице 2.

Интерпретация влияния признаков на вероятность заболевания приведена в таблице 3.

Таким образом видно, что наибольший вклад в прогноз вносит уровень глюкозы, что соответствует медицинским представлениям о факторах риска сахарного диабета.

Таблица 2 – Метрики качества

Метрика	Значение
AUC	0.79
Чувствительность	0.82
Специфичность	0.74
Доля правильных классификаций	0.77
Brier score	0.16

Таблица 3 – Интерпретация коэффициентов

Признак	OR	Интерпретация
Glucose	1.08	повышение глюкозы увеличивает риск диабета
BMI	1.04	увеличение массы тела повышает риск
Age	1.03	риск возрастает с возрастом

Корректность применения логистической регрессии в медицинских исследованиях определяется не только математической формой модели, но и соблюдением процедуры анализа данных. Использование обучающей выборки для оценки качества приводит к систематическому завышению результатов, поэтому необходима раздельная, а при возможности и внешняя валидация на независимых данных. Площадь под ROC-кривой характеризует дискриминационную способность модели, однако не отражает точность вероятностных оценок. В связи с этим наряду с ROC-анализом обязательна проверка калибровки предсказанных вероятностей. При ограниченном объёме выборки или большом числе признаков возрастает риск переобучения, что требует применения регуляризации, обеспечивающей устойчивость коэффициентов и переносимость модели. Дополнительные трудности возникают при редких событиях и почти полном разделении классов; в этих случаях используются взвешивание классов и регуляризованные версии логистической регрессии.

Заключение

В работе показано, что логистическая регрессия является эффективным и интерпретируемым методом анализа медицинских данных, позволяющим оценивать вероятность заболевания и количественно характеризовать вклад факторов риска. Надёжность получаемых результатов обеспечивается корректной предобработкой данных, применением процедур валидации и оценкой калибровки

вероятностей. Соблюдение указанных требований делает логистическую регрессию пригодным инструментом для задач скрининга и поддержки принятия клинических решений.

Список литературы

1. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel Эксперим. исслед. Клини. испытания. Анализ фармацевт. рынка / С.Н. Лапач, А.В. Чубенко, П.Н. Бабич. – 2-е изд., доп., с магнит. носителем. – Киев : МОРИОН, 2001. – 407 с. ил.; 26. – (Медицина и статистика); ISBN 966-7632-33-4.
2. Сахарный диабет : диагностика, лечение, профилактика : руководство / И. И. Дедов [и др.] ; под ред. И. И. Дедова, М. В. Шестаковой. – Москва : Мед. информ. агентство, 2011. – 801 с. : цв. ил., портр. – ISBN 978-5-9986-0061-6.
3. Clinical prediction models: A practical approach to development, validation, and updating Ewout W. Steyerberg (2019). Second Edition, Springer Series Statistics for Biology and Health. Cham: Springer. 558 pages. ISBN: 978-3-030-16398-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16399-0>.
4. Kim J. H. Multicollinearity and misleading statistical results // Korean Journal of Anesthesiology. – 2019. – Vol. 72, No. 6. – P. 558–569.
5. Lachiche N., Flach P. Improving accuracy and cost of two-class and multi-class probabilistic classifiers using ROC curves // Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003). – Washington : AAAI Press, 2003. – Vol. 20. – P. 416–424.
6. Kuhn M., Johnson K. Applied Predictive Modeling. – New York : Springer, 2013. – 600 p.
7. Коробова Л. А., Эйнуллаев Т. А. О., Тэн Р. В. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52–61. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-50-59.
8. Арапов Д. В., Курицын В. А., Скоробогатов С. А. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7–16. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-5-13.
9. Юрчишина М. В., Бушмелева К. И. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84–95. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

References

1. Lapach S. N. Statistical methods in biomedical research using Excel Experiments. research. The wedge. trials. Pharmaceutical market analysis / S.N. Lapach, A.V. Chubenko, P.N. Babich. – 2nd ed., supplement, with magnet. the carrier. Kiev : MO-RION, 2001. 407 p. ill.; 26. –Medicine and statistics); ISBN 966-7632-33-4.
2. Diabetes mellitus : diagnosis, treatment, prevention : a guide / I. I. Dedov [et al.]; edited by I. I. Dedov, M. V. Shestakova. – Moscow : Med. inform. Agency, 2011. – 801 p. : tsv. il., portr. – ISBN 978-5-9986-0061-6.
3. Clinical prediction models: A practical approach to development, validation, and updating Ewout W. Steyerberg (2019). Second Edition, Springer Series Statistics for Biology and Health. Cham: Springer. 558 pages. ISBN: 978-3-030-16398-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16399-0>.
4. Kim J. H. Multicollinearity and misleading statistical results // Korean Journal of Anesthesiology. – 2019. – Vol. 72, No. 6. – P. 558–569.
5. Lachiche N., Flach P. Improving accuracy and cost of two-class and multi-class probabilistic classifiers using ROC curves // Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003). – Washington : AAAI Press, 2003. – Vol. 20. – P. 416–424.
6. Kuhn M., Johnson K. Applied Predictive Modeling. – New York : Springer, 2013. – 600 p.
7. Korobova L. A., Eynullaev T. A. O., Ten R. V. System approach in applied medical diagnostic tasks // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 52–61. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-50-59.
8. Arapov D. V., Kuritsyn V. A., Skorobogatov S. A. Automated mobile decision-making system for special medicine applications // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 7–16. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-5-13.
9. Yurchishina M. V., Bushmeleva K. I. Algorithmic DSS model “Optimal Curriculum” // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – P. 84–95. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ СПРОСА В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Д.П. Луцко¹, М.И. Лозовский¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается разработка алгоритмического подхода к прогнозированию спроса в розничной торговле с последующей интеграцией в информационную систему предприятия. Рассмотрены классические статистические методы и современные алгоритмы машинного обучения с точки зрения их вычислительной реализации. Результаты исследования показывают, что интеграция алгоритмов прогнозирования в корпоративную информационную систему позволяет повысить точность планирования спроса и сократить издержки управления запасами.

Ключевые слова: прогнозирование спроса, алгоритм, информационная система, машинное обучение, анализ данных, розничная торговля, автоматизация.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHMIC APPROACH TO FORECASTING DEMAND IN DIFFERENCE TRADE IN AN INFORMATION SYSTEM

D.P. Lutsko¹, M.I. Lozovskii¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article discusses the development of an algorithmic approach to demand forecasting in retail, followed by integration into an enterprise information system. Classic statistical methods and modern machine learning algorithms are considered from the perspective of their computational implementation. The results of the study demonstrate that integrating forecasting algorithms into an enterprise information system improves the accuracy of demand planning and reduces inventory management costs.

Keywords: demand forecasting, algorithm, information system, machine learning, data analysis, retail, automation.

Введение

Цифровизация розничной торговли требует применения интеллектуальных методов анализа данных для повышения эффективности бизнес-процессов. Одной из ключевых задач является прогнозирование спроса, от которого зависит планирование закупок, логистика и управление товарными запасами.

Традиционные методы прогнозирования часто используются изолированно и не интегрируются в корпоративные информационные системы. В результате процесс прогнозирования остается фрагментарным и требует значительных ручных операций.

Целью исследования является разработка алгоритмического подхода к прогнозированию спроса с возможностью его внедрения в информационную систему розничного предприятия.

Особенности данных розничной торговли

Данные о продажах в розничной торговле обладают выраженной спецификой, обусловленной как поведением потребителей, так и внешними экономическими факторами. Одной из характерных особенностей является сезонность, проявляющаяся в колебаниях спроса в зависимости от дней недели, месяцев и праздничных периодов. Например, увеличение продаж перед праздничными датами или снижение покупательской активности в определённые сезоны формируют повторяющиеся циклы в динамике показателей.

Наряду с сезонными колебаниями в данных часто присутствуют трендовые изменения, отражающие долгосрочный рост или снижение спроса. Такие тенденции могут быть связаны с расширением торговой сети, изменением ассортимента, колебаниями доходов населения или трансформацией потребительских предпочтений. Игнорирование тренда при анализе способно привести к искажению результатов прогнозирования.

Существенное влияние на структуру данных оказывают маркетинговые мероприятия, включая акции, скидки и рекламные кампании. В периоды проведения стимулирующих мероприятий наблюдаются резкие краткосрочные изменения объёмов продаж, которые отличаются от типичной динамики спроса. Эти всплески могут затруднять выявление устойчивых закономерностей.

Концепция алгоритмического подхода

Дополнительную сложность создают выбросы и пропуски в данных. Аномальные значения могут возникать вследствие технических сбоев, ошибок ввода информации или нестандартных событий. Пропуски же нередко появляются из-за несинхронизированной работы информационных систем или отсутствия данных за отдельные периоды. Кроме того, для розничной торговли характерна высокая изменчивость спроса, особенно в сегментах с коротким жизненным циклом товара.

Перечисленные особенности обуславливают необходимость предварительной обработки данных перед применением алгоритмов прогнозирования. В рамках предобработки осуществляется очистка массива данных от аномальных значений с использованием статистических и алгоритмических методов. Пропуски восстанавливаются посредством интерполяции или других методов аппроксимации, обеспечивающих сохранение целостности временной структуры. Далее выполняется агрегация данных по выбранным временным интервалам, что позволяет сгладить случайные колебания и повысить устойчивость модели. Завершающим этапом выступает нормализация показателей, направленная на приведение данных к сопоставимому масштабу и повышение корректности последующего анализа.

Таким образом, корректная предобработка является необходимым условием построения надежной системы прогнозирования спроса в розничной торговле и напрямую влияет на точность получаемых результатов. Предлагаемый алгоритмический подход основан на последовательной автоматизированной обработке данных с последующим выбором оптимальной модели прогнозирования. Его ключевая идея заключается в построении единого технологического контура, в рамках которого все этапы анализа выполняются без ручного вмешательства, что обеспечивает воспроизводимость результатов и устойчивость системы к изменению входных данных.

На начальном этапе осуществляется загрузка данных из корпоративной информационной системы, включая транзакционные записи о продажах, сведения о товарных остатках и сопутствующую аналитическую информацию. После извлечения данные проходят процедуру предобработки, в ходе которой устраняются аномалии, корректируются пропуски и формируются дополнительные признаки, отражающие временные и поведенческие характеристики спроса.

Далее подготовленный массив данных разделяется на обучающую и тестовую части. Такое разделение позволяет обеспечить объективную оценку качества прогнозирования и предотвратить переобучение моделей. На обучающей выборке последовательно строятся несколько моделей прогнозирования, отличающихся используемыми алгоритмами и настройками параметров.

После завершения обучения производится оценка точности полученных прогнозов с использованием выбранных метрик качества. На основе сравнительного анализа определяется модель, демонстрирующая наилучшие показатели. Финальным этапом является формирование прогноза на заданный горизонт и автоматическое сохранение результатов в информационной системе для дальнейшего использования в управленческих процессах.

Таким образом, прогнозирование интегрируется в непрерывный автоматизированный цикл обработки данных, что позволяет обеспечить регулярное обновление прогнозов и повысить оперативность принятия решений в розничной торговле.

Используемые методы прогнозирования

В рамках предлагаемого алгоритмического подхода могут задействоваться различные прогнозные модели, выбор которых определяется структурой данных, горизонтом прогнозирования и требованиями к точности получаемых результатов. Применение нескольких классов моделей позволяет повысить устойчивость системы и обеспечить её адаптивность к меняющимся рыночным условиям.

Классические статистические методы. К ним относятся регрессионные модели, ориентированные на выявление зависимости спроса от внешних факторов, а также методы анализа временных рядов, дающие возможность учитывать внутреннюю динамику данных, сезонность и трендовые изменения. В задачах с ярко выраженной периодичностью применяется также экспоненциальное сглаживание, которое эффективно моделирует краткосрочные колебания. Основное преимущество этих подходов – интерпретируемость и стабильность при ограниченном объёме наблюдений. Они позволяют не только получить прогноз, но и объяснить влияние отдельных факторов на динамику продаж.

Методы машинного обучения. Наряду с классическими подходами в системе могут использоваться алгоритмы машинного обучения. Среди них – ансамблевые методы, объединяющие несколько моделей для повышения устойчивости прогноза; алгоритмы градиентного бустинга, способные последовательно

минимизировать ошибку предсказания; а также нейронные сети, эффективно выявляющие сложные нелинейные зависимости в данных. Указанные методы демонстрируют высокую точность при наличии больших массивов информации и множества разнородных признаков, однако они требуют более значительных вычислительных ресурсов и тщательной настройки параметров.

Выбор конкретной модели осуществляется автоматически на основе сравнительного анализа метрик качества прогнозирования. Такой подход позволяет системе адаптироваться к особенностям текущих данных и использовать наиболее эффективный алгоритм без ручного вмешательства, что обеспечивает стабильность и объективность результатов.

Заключение

Разработан алгоритмический подход к прогнозированию спроса, ориентированный на интеграцию в информационную систему розничного предприятия. Предложенная структура позволяет автоматизировать процессы анализа данных, выбора модели и формирования прогноза.

Использование комбинированного подхода, объединяющего классические статистические методы и алгоритмы машинного обучения, обеспечивает высокую точность прогнозирования и адаптивность к изменяющимся рыночным условиям.

Перспективы дальнейших исследований связаны с внедрением адаптивных моделей и применением потоковой обработки данных в реальном времени.

Список литературы

1. Высоцкая, И. А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

2. Высоцкая, И. А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

3. Сухарский, А. В. Операция конъюнкция и ее алгоритмическая реализация / А. В. Сухарский, Д. П. Луцко, А. А. Дубов // Моделирование информационных систем и технологий - 2025 : Материалы Международной научно-практи-

ческой конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов, Воронеж, 20 февраля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 138-146. – DOI 10.58168/MIST2025_138-146. – EDN HCYXJF.

4. Луцко, Д. П. Тенденции развития полупроводниковых технологий в современных устройствах / Д. П. Луцко // Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса - 2025 : Материалы международной научной конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Воронеж, 27–28 марта 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 194-198. – DOI 10.58168/E-SESTTI2025_194-198. – EDN OTLVJP.

5. Кандауров, И. А. Применение графических процессоров с искусственными нейронными сетями / И. А. Кандауров, В. Э. Буздин // Проблемные вопросы моделирования систем и процессов : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 14 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 555-558. – DOI 10.58168/CISMP2024_555-558. – EDN JPIXXN.

References

1. Vysotskaya, I. A. Substantiation of Information and Intelligent Support for the Operating Principles of Technical Systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 19–26. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

2. Vysotskaya, I. A. Substantiation of Information and Intelligent Support for the Operating Principles of Technical Systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 19–26. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

3. Sukharsky, A. V., Lutsko, D. P., Dubov, A. A. Conjunction Operation and Its Algorithmic Implementation // Modeling of Information Systems and Technologies – 2025: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 95th Anniversary of VGLTU and the 80th Anniversary of Victory in the Great Patriotic War of 1941–1945, Voronezh, February 20, 2025. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 2025. – Pp. 138–146. – DOI: 10.58168/MIST2025_138-146. – EDN HCYXJF.

4. Lutsko, D. P. Trends in the Development of Semiconductor Technologies in Modern Devices // Energy- and Resource-Saving and Environmentally Safe Technologies of the Forest Industry Complex – 2025: Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 95th Anniversary of VGLTU named after G. F. Morozov and the 80th Anniversary of Victory in the Great Patriotic War, Voronezh, March 27–28, 2025. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 2025. – Pp. 194–198. – DOI: 10.58168/E-SESTTI2025_194-198. – EDN OTLVJP.

5. Kandaurov, I. A., Buzdin, V. E. Application of Graphics Processing Units with Artificial Neural Networks // Problematic Issues of Modeling Systems and Processes: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 14, 2024. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 2024. – Pp. 555–558. – DOI: 10.58168/CISMP2024_555-558. – EDN JPIXXN.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Д.П. Луцко¹, В.Э. Буздин¹, К.А. Авдеев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются особенности разработки и внедрения информационных систем поддержки принятия решений (СППР) в розничной торговле на основе анализа данных. Представлены ключевые компоненты архитектуры аналитической системы, включая процессы сбора, хранения и обработки данных, а также интеграцию алгоритмов прогнозирования спроса. Описаны функциональные возможности системы, направленные на повышение эффективности управления товарными запасами, ценообразованием и логистикой. Показано, что использование аналитических инструментов в рамках корпоративной информационной среды способствует повышению точности управленческих решений и снижению операционных издержек.

Ключевые слова: информационная система, поддержка принятия решений, розничная торговля, анализ данных, бизнес-аналитика, прогнозирование спроса, автоматизация.

INFORMATION SYSTEMS FOR DECISION SUPPORT IN RETAIL TRADE BASED ON DATA ANALYSIS

D.P. Lutsko¹, V.E. Buzdin¹, K.A. Avdeev¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the development and implementation of data-based decision support systems (DSS) in retail. Key components of the analytical system architecture are presented, including data collection, storage, and processing, as well as the integration of demand forecasting algorithms. The system's functional capabilities, aimed at improving the efficiency of inventory management, pricing, and logistics, are described. It is shown that the use of analytical tools within a corporate information environment contributes to increased accuracy of management decisions and a reduction in operating costs.

Keywords: information system, decision support, retail, data analysis, business analytics, demand forecasting, automation.

Введение

Современная розничная торговля функционирует в условиях высокой конкуренции и постоянных изменений потребительского поведения. Увеличение объема данных о продажах, клиентах и логистике требует использования специализированных инструментов для их обработки и анализа.

Информационные системы поддержки принятия решений (СППР) позволяют преобразовывать большие массивы данных в структурированную аналитическую информацию, необходимую для стратегического и оперативного управления.

Целью исследования является разработка концептуальной модели информационной системы поддержки принятия решений в розничной торговле на основе анализа данных.

Роль анализа данных в розничной торговле

Розничные предприятия ежедневно формируют значительные массивы информации, отражающие различные аспекты их деятельности. К таким данным относятся транзакционные сведения о продажах, позволяющие отслеживать динамику реализации товаров, информация о товарных остатках, характеризующая состояние складских запасов, данные о клиентах, включающие историю покупок и поведенческие характеристики, маркетинговая информация о проводимых акциях и рекламных кампаниях, а также логистические показатели, связанные с поставками и распределением продукции.

Системный анализ указанных данных обеспечивает возможность выявления устойчивых тенденций спроса, определения сезонных колебаний и прогнозирования будущих объемов продаж. На основе полученных результатов предприятия могут более эффективно управлять товарными запасами, снижая риск дефицита или избыточного хранения продукции. Кроме того, анализ информации способствует корректировке ценовой политики с учетом изменений рыночной конъюнктуры и оценке результативности маркетинговых мероприятий, что повышает обоснованность управленческих решений.

При отсутствии автоматизированной обработки больших объемов данных процесс принятия решений становится преимущественно интуитивным и субъективным, что снижает точность планирования и увеличивает вероятность эко-

номических потерь. Внедрение аналитических инструментов позволяет обеспечить объективность оценки показателей деятельности и повысить эффективность функционирования розничного предприятия в условиях конкурентной среды.

Концепция информационной системы поддержки принятия решений

Информационная система поддержки принятия решений представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для сбора, хранения, обработки и визуализации данных с целью обеспечения обоснованности управленческих решений в розничной торговле. Такая система интегрирует разрозненные источники информации в единую цифровую среду и формирует аналитическую основу для стратегического и оперативного управления.

Ключевым элементом системы является модуль сбора данных, обеспечивающий автоматическую интеграцию с кассовыми системами, ERP- и CRM-платформами. Благодаря этому достигается непрерывное поступление актуальной информации о продажах, товарных остатках, клиентах и маркетинговых активностях без необходимости ручного ввода данных, что снижает вероятность ошибок и повышает оперативность обновления информации.

Центральное место в архитектуре занимает хранилище данных, организованное по принципам Data Warehouse. Оно обеспечивает централизованное хранение структурированной информации, подготовленной для аналитической обработки. Консолидация данных из различных источников позволяет формировать единую версию достоверных показателей, что особенно важно при анализе динамики продаж и оценке эффективности бизнес-процессов.

Аналитический модуль реализует алгоритмы обработки данных, включая методы статистического анализа и прогнозирования спроса. На данном этапе осуществляется выявление закономерностей, расчет ключевых показателей эффективности и формирование прогностических оценок, которые служат основой для планирования закупок, управления запасами и корректировки ценовой политики.

Модуль визуализации, представленный BI-инструментами, обеспечивает наглядное представление результатов анализа в виде отчетов, панелей мониторинга и интерактивных графиков. Визуальная интерпретация данных облегчает восприятие информации и способствует более быстрому принятию управленческих решений.

Интерфейс пользователя обеспечивает доступ руководителей и аналитиков к функциональным возможностям системы. Он должен быть интуитивно понятным, адаптированным к различным уровням управления и обеспечивать гибкую настройку параметров анализа. В совокупности все перечисленные компоненты формируют целостную систему, способную повысить эффективность управления розничным предприятием за счет использования современных методов анализа данных.

Преимущества внедрения СППР

Внедрение информационных систем поддержки принятия решений в розничной торговле оказывает комплексное положительное влияние на эффективность управления предприятием. Прежде всего, использование аналитических инструментов способствует повышению точности прогнозирования спроса за счёт обработки больших массивов данных и выявления скрытых закономерностей. Это позволяет формировать более обоснованные планы закупок и продаж.

Автоматизированный анализ информации обеспечивает сокращение издержек хранения, поскольку объем товарных запасов рассчитывается с учетом прогнозируемого спроса и сезонных колебаний. Оптимизация складских остатков, в свою очередь, снижает вероятность дефицита товаров и минимизирует потери, связанные с избыточным хранением или нереализованной продукцией.

Применение СППР также ускоряет управленческие процессы. Руководители получают доступ к актуальным аналитическим данным в режиме, близком к реальному времени, что сокращает время на подготовку отчетов и повышает оперативность принятия решений. Кроме того, система обеспечивает прозрачность бизнес-процессов, поскольку ключевые показатели деятельности становятся доступными для анализа и контроля.

Цифровая трансформация управления, основанная на внедрении СППР, способствует формированию устойчивых конкурентных преимуществ предприятия. Организация, способная эффективно использовать данные для стратегического и оперативного планирования, получает возможность быстрее адаптироваться к изменениям рыночной среды и повышать уровень обслуживания клиентов.

Перспективы развития

Дальнейшее развитие систем поддержки принятия решений в розничной торговле связано с расширением их функциональных возможностей и использованием современных цифровых технологий. Одним из ключевых направлений является внедрение потоковой обработки данных в режиме реального времени. Это позволяет анализировать информацию о продажах, остатках и поведении покупателей непосредственно в момент её поступления, что существенно повышает оперативность управленческих решений.

Перспективным направлением также является активное применение методов искусственного интеллекта, включая алгоритмы машинного обучения и интеллектуальный анализ данных. Такие технологии обеспечивают более глубокое выявление закономерностей, автоматическую адаптацию моделей прогнозирования к изменяющимся условиям и повышение точности оценки спроса.

Значительное влияние на развитие СППР оказывает распространение облачных платформ, обеспечивающих масштабируемость вычислительных ресурсов, гибкость внедрения и снижение затрат на инфраструктуру. Облачные решения позволяют интегрировать данные из различных источников и обеспечивать доступ к аналитическим инструментам независимо от территориального расположения пользователей.

Кроме того, интеграция СППР с мобильными приложениями расширяет возможности оперативного управления, предоставляя руководителям доступ к ключевым показателям и аналитическим отчетам в любое время. Развитие технологий обработки больших данных формирует основу для дальнейшего совершенствования систем поддержки принятия решений и открывает новые возможности для повышения точности и обоснованности управленческих действий в условиях высокой конкуренции.

Заключение

Информационные системы поддержки принятия решений являются важным инструментом цифровой трансформации розничной торговли. Интеграция методов анализа данных и алгоритмов прогнозирования спроса в корпоративную информационную среду позволяет повысить эффективность управления и снизить операционные риски.

Разработка и внедрение СППР на основе анализа данных обеспечивает системный подход к принятию управленческих решений и формирует основу для устойчивого развития предприятия в условиях цифровой экономики

Список литературы

1. Высоцкая И.А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.
2. Высоцкая И.А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.
3. Сухарский А. В. Операция конъюнкция и ее алгоритмическая реализация / А.В. Сухарский, Д. . Луцко, А.А. Дубов // Моделирование информационных систем и технологий - 2025 : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов, Воронеж, 20 февраля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 138-146. – DOI 10.58168/MIST2025_138-146. – EDN HCYXJF.
4. Луцко Д.П. Тенденции развития полупроводниковых технологий в современных устройствах / Д.П. Луцко // Энергоресурсосберегающие и экологически безопасные технологии лесопромышленного комплекса - 2025 : Материалы международной научной конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне, Воронеж, 27–28 марта 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 194-198. – DOI 10.58168/E-SESTTI2025_194-198. – EDN OTLVJP.
5. Кандауров И.А. Применение графических процессоров с искусственными нейронными сетями / И. А. Кандауров, В. Э. Буздин // Проблемные вопросы моделирования систем и процессов : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 14 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 555-558. – DOI 10.58168/CISMP2024_555-558. – EDN JPIXXN.

References

1. Vysotskaya I.A. Substantiation of Information and Intelligent Support for the Operating Principles of Technical Systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 19–26. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.
2. Vysotskaya I.A. Substantiation of Information and Intelligent Support for the Operating Principles of Technical Systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 19–26. – DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.
3. Sukharsky A.V., Lutsko D.P., Dubov, A. A. Conjunction Operation and Its Algorithmic Implementation // Modeling of Information Systems and Technologies – 2025: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 95th Anniversary of VGLTU and the 80th Anniversary of Victory in the Great Patriotic War of 1941–1945, Voronezh, February 20, 2025. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 2025. – Pp. 138–146. – DOI: 10.58168/MIST2025_138-146. – EDN HCYXJF.
4. Lutsko D.P. Trends in the Development of Semiconductor Technologies in Modern Devices // Energy- and Resource-Saving and Environmentally Safe Technologies of the Forest Industry Complex – 2025: Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 95th Anniversary of VGLTU named after G. F. Morozov and the 80th Anniversary of Victory in the Great Patriotic War, Voronezh, March 27–28, 2025. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 2025. – Pp. 194–198. – DOI: 10.58168/E-SESTTI2025_194-198. – EDN OTLVJP.
5. Kandaurov I.A., Buzdin V.E. Application of Graphics Processing Units with Artificial Neural Networks // Problematic Issues of Modeling Systems and Processes: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 14, 2024. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 2024. – Pp. 555–558. – DOI: 10.58168/CISMP2024_555-558. – EDN JPIXXN.

АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОФИСНЫХ РАСХОДОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ СОТРУДНИКОВ И ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

А.А. Люков¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема неэффективности традиционных реактивных подходов к управлению офисными расходами, приводящих к избыточным запасам или дефициту материалов. Предлагается алгоритм интеллектуального прогнозирования потребления на основе методов машинного обучения, учитывающий комплекс внутренних и внешних факторов: исторические данные, активность подразделений, проекты, посещаемость сотрудников, сезонность и календарные особенности. Описывается процесс интеграции данных, инженерии признаков, выбора моделей (градиентный бустинг, LSTM) и их обучения. Рассматривается архитектура внедрения алгоритма в существующую корпоративную систему в виде отдельного сервисного компонента с механизмами обратной связи и мониторинга. Реализация предложенного подхода позволяет снизить складские излишки, минимизировать риски дефицита и повысить прозрачность бюджетного управления.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, прогнозирование потребления, машинное обучение, управление расходами, офисные расходы, градиентный бустинг, LSTM, корпоративные информационные системы, оптимизация запасов, интеллектуальные алгоритмы

THE ALGORITHM OF INTELLIGENT FORECASTING OF OFFICE EXPENSES BASED ON THE ANALYSIS OF EMPLOYEE BEHAVIOR AND EXTERNAL FACTORS

A.A. Lyukov¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines the inefficiency of traditional reactive approaches to office cost management, leading to excess inventory or shortage of materials. An algorithm for intelligent consumption forecasting based on machine learning methods is proposed that takes into account a range

of internal and external factors: historical data, business unit activity, projects, employee attendance, seasonality, and calendar features. The process of data integration, feature engineering, model selection (gradient boosting, LSTM) and their training is described. The architecture of the algorithm implementation in the existing corporate system in the form of a separate service component with feedback and monitoring mechanisms is considered. The implementation of the proposed approach makes it possible to reduce warehouse surpluses, minimize deficit risks, and increase transparency in budget management.

Keywords: predictive analytics, consumption forecasting, machine learning, cost management, office expenses, gradient boosting, LSTM, corporate information systems, inventory optimization, intelligent algorithms

В большинстве корпоративных информационных систем управление офисными расходами строится на реактивной логике: анализируется историческое потребление, устанавливается минимальный порог остатка, и при его достижении автоматически формируется заказ поставщику. Такой подход прост в реализации, однако он не учитывает сезонность, изменения деловой активности, влияние проектов и режим работы сотрудников. В результате организация сталкивается либо с избыточными запасами и замораживанием оборотных средств, либо с дефицитом расходных материалов, что приводит к простоям и снижению производительности. В условиях цифровизации и роста требований к эффективности бюджетного управления возникает необходимость перехода к предиктивной модели, основанной на анализе данных и прогнозировании будущего потребления.

Интеллектуальное прогнозирование офисных расходов предполагает использование методов машинного обучения для оценки будущей потребности в материалах на заданном горизонте планирования. В отличие от классической экстраполяции, предлагаемая модель учитывает совокупность факторов, отражающих как внутреннюю динамику работы компании, так и внешние условия. К внутренним факторам относятся исторические данные о выдаче и списании материалов, активность подразделений, запуск и завершение проектов, структура документооборота. Существенное влияние оказывает фактическое присутствие сотрудников в офисе, которое может быть получено из системы контроля и управления доступом. Внешними факторами выступают календарные особенности, предпраздничные периоды, окончание кварталов и изменение формата работы, например переход на удалённый режим.[1]

Построение алгоритма начинается с интеграции разрозненных источников данных в единое информационное пространство. Исторические данные агрегируются по временным интервалам, формируя временные ряды потребления для каждой номенклатурной позиции. Выполняется очистка и нормализация данных, устранение выбросов и дубликатов, стандартизация наименований. После этого осуществляется инжиниринг признаков: рассчитываются скользящие средние и лаговые значения потребления, формируются индикаторы сезонности, календарные признаки и показатели посещаемости сотрудников. Включение таких характеристик позволяет описать не только общий тренд, но и скрытые закономерности, связанные с поведением коллектива и особенностями бизнес-процессов.

В качестве основной модели прогнозирования целесообразно использовать алгоритмы градиентного бустинга над решающими деревьями, поскольку они эффективно работают с табличными данными, учитывают нелинейные зависимости и устойчивы к пропускам. Эти методы позволяют оценить вклад каждого признака в итоговый прогноз, что обеспечивает прозрачность принимаемых системой решений. Для задач со сложной временной структурой может применяться рекуррентная нейронная сеть типа LSTM, способная учитывать долгосрочные зависимости во временном ряду. Практически оправдан гибридный подход, при котором базовый прогноз формируется бустинговой моделью, а нейросетевая архитектура используется для уточнения результатов по отдельным категориям товаров.[3]

Обучение модели проводится на исторических данных с соблюдением временной последовательности, что исключает утечку информации из будущего. Для оценки качества применяются показатели средней абсолютной и относительной ошибки, а также экономические метрики, отражающие потери от дефицита или избыточных запасов. Таким образом, модель оценивается не только с точки зрения статистической точности, но и по влиянию на финансовые показатели предприятия.[2]

Интеграция алгоритма в существующую Java-систему реализуется в виде отдельного сервисного компонента, взаимодействующего с основным приложением через программный интерфейс. Подсистема загрузки данных формирует необходимые признаки и передаёт их в модель для расчёта прогноза. Полученные значения используются для автоматического формирования рекомендованных заказов с учётом сроков поставки, минимальных партий и бюджетных огра-

ничений. Предусматривается механизм обратной связи, обеспечивающий накопление фактических данных и регулярное переобучение модели, что позволяет поддерживать её актуальность в изменяющихся условиях.

Функционирование системы возможно в пакетном режиме, когда прогнозы рассчитываются периодически, и в оперативном режиме при возникновении значимых событий, например, старте крупного проекта. Для обеспечения устойчивости внедряются средства мониторинга качества модели и обнаружения изменений в распределении данных. Это позволяет своевременно корректировать алгоритм и предотвращать ухудшение точности.[4]

Внедрение предиктивной аналитики в управление офисными расходами обеспечивает снижение объёма складских излишков, уменьшение риска дефицита и повышение прозрачности бюджетирования. Система трансформируется из инструмента фиксации операций в средство поддержки управленческих решений, способное заранее оценивать будущие потребности и оптимизировать логистические процессы. Таким образом, разработка алгоритма интеллектуального прогнозирования представляет собой важный шаг в развитии корпоративных информационных систем и способствует повышению общей эффективности деятельности организации.

Список литературы

1. Калач, А. В. О возможностях применения метода почти-периодического анализа для обработки изображений / А. В. Калач, А. А. Парамонов, С. Л. Сахаров // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV.
2. Оськин, А. Ф. Применение алгоритмов интеллектуального анализа образовательных данных для прогнозирования академической успеваемости студентов-историков / А. Ф. Оськин, Д. А. Оськин // Информационный бюллетень ассоциации История и компьютер. – 2016. – № 45. – С. 239-240. – EDN ZWOBFH.
3. Айнакулов, Ж. Ж. Интеллектуальный алгоритм оценки и прогнозирования поведения сложного объекта / Ж. Ж. Айнакулов, Г. Е. Курманкулова // Актуальные вопросы современной науки : Сборник статей по материалам XI международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Томск, 24 апреля 2018 года. Том Часть 1. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. – С. 61-73. – EDN UWTEYJ.
4. Бова, В. В. Прогнозирование в интеллектуальных системах-ассистентах на основе алгоритма поиска косяком рыб / В. В. Бова, Э. В. Кулиев, С. И.

Родзин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 2(204). – С. 34-47. – DOI 10.23683/2311-3103-2019-2-34-48. – EDN MCEWYT.

5. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР / Д. В. Шеховцов, А. М. Плотников, К. В. Зольников, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79–86.

References

1. Kalach, A.V. On the possibilities of using the method of near-periodic analysis for image processing / A.V. Kalach, A. A. Paramonov, S. L. Sakharov // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 3. – PP. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDITORIAL HKBSAV.

2. Oskin, A. F. Application of algorithms for intellectual analysis of educational data to predict the academic performance of students of history / A. F. Oskin, D. A. Oskin // Newsletter of the Association of History and Computer. – 2016. – № 45. – pp. 239-240. – EDN ZVOBFH.

3. Ainakulov, J. J. Intelligent algorithm for evaluating and predicting the behavior of a complex object / J. J. Ainakulov, G. E. Kurmankulova // Current issues of modern science : A collection of articles based on the materials of the XI scientific and practical International Conference. In 2 parts, Tomsk, April 24, 2018. Volume Part 1. Tomsk: Dendra Limited Liability Company, 2018. pp. 61-73. – EDN UVTEY.

4. Bova, V. V. Forecasting in intelligent assistant systems based on a shoal of fish search algorithm / V. V. Bova, E. V. Kuliyevev, S. I. Rodzin // Izvestiya SFU. Technical sciences. – 2019. – № 2(204). – Pp. 34-47. – DOI 10.23683/2311-3103-2019-2-34-48. – EDN MCEWITT.

5. Technology for the development of an RTL model of a product description in the development of a CAD software and analytical complex / D. V. Shekhovtsov, A.M. Plotnikov, K. V. Zolnikov, A. I. Zarevich // Modeling of systems and processes. - 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБРЫВОВ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Б.С. Матвийчук¹, Д.А. Седых¹, С.П. Дудник¹, П.Д. Вытовтов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье анализируются перспективы развития систем прогнозирования обрывов бумажного полотна на бумагоделательных машинах с применением методов машинного обучения. Решается проблема дисбаланса классов и обеспечению интерпретируемости моделей в условиях российских ЦБК. Предложена гибридная архитектура LSTM + XGBoost с использованием методов аугментации данных ADASYN, SMOTE и анализа SHAP.

Ключевые слова: предиктивное управление, прогнозирование обрывов, бумагоделательная машина, гибридные модели, дисбаланс классов, LSTM, XGBoost, машинное обучение.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF PAPER SHEET BREAKAGE PREDICTION SYSTEMS BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

B.S. Matviychuk¹, D.A. Sedykh¹, S.P. Dudnik¹, P.D. Vytovtov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyzes the prospects for the development of systems for predicting paper breaks on paper machines using machine learning methods. The problem of the imbalance of classes and ensuring the interpretability of models in the conditions of the Russian CBC is solved. A hybrid architecture LSTM + XGBoost using data augmentation methods ADASYN, SMOTE and SHAP analysis is proposed.

Keywords: predictive control, paper breakage predicting, paper machine, hybrid models, class imbalance, LSTM, XGBoost, machine learning.

Введение

Производство бумаги и картона остаётся одной из ключевых отраслей промышленности Российской Федерации, однако в последние годы отрасль переживает структурный кризис. В 2023 году объём выпуска товарной продукции сократился на 4,6%, а крупнейшие предприятия («Илим», «Сегежа Групп», АЦБК) понесли убытки около 100 млн рублей каждое [4]. В таких условиях эффективность работы оборудования становится стратегической задачей. Наиболее ощутимые потери на бумагоделательной машине (БДМ) связаны с обрывами полотна в сушильной части, где время восстановления составляет 25–90 минут. Ущерб от часа простоя современной машины варьируется в диапазоне 400.000–1.800.000 рублей, превышая 1,5 млн рублей для высокопроизводительных агрегатов (>500 т/сутки). При 50 обрывах в месяц это даёт около 21 час простоя и потерю 85–500 т продукции в зависимости от мощности БДМ. С учётом доли сырья (40–70% себестоимости) и расхода пара (12–50 т/ч), реальная стоимость инцидента с учётом брака и перезапуска многократно возрастает [1, 4, 6]. Современные системы управления позволяют минимизировать последствия уже произошедшего обрыва, но не предотвратить его [3]. Проактивные меры снижают частоту инцидентов, однако не обеспечивают прогнозирования новых ситуаций [6, 7, 8]. В этом контексте наиболее перспективным направлением становится переход к предиктивному управлению на основе методов машинного обучения.

Целью данной работы является анализ перспектив развития систем прогнозирования обрывов бумажного полотна на основе методов машинного обучения, адаптированных к условиям российских целлюлозно-бумажных комбинатов. В работе рассматриваются гибридные архитектуры (LSTM + XGBoost), методы преодоления дисбаланса классов (ADASYN, SMOTE) и подходы к интерпретации моделей (SHAP), обеспечивающие упреждение события на 4–5 минут при частоте ложных срабатываний от 0,23/100 ч.

Причины обрыва бумаги в сушильной части

Обрыв бумажного полотна в сушильной части БДМ представляет собой результат системного нарушения устойчивости технологического процесса, а не случайное событие. Ключевым моментом является переход от фазы постоянной скорости сушки к фазе падающей скорости, сопровождающийся резким ростом внутренних напряжений при сухости полотна 65–85% [8, 9]. В этом диапазоне происходит интенсивное снижение пластичности волокнистой структуры, что делает полотно особенно уязвимым.

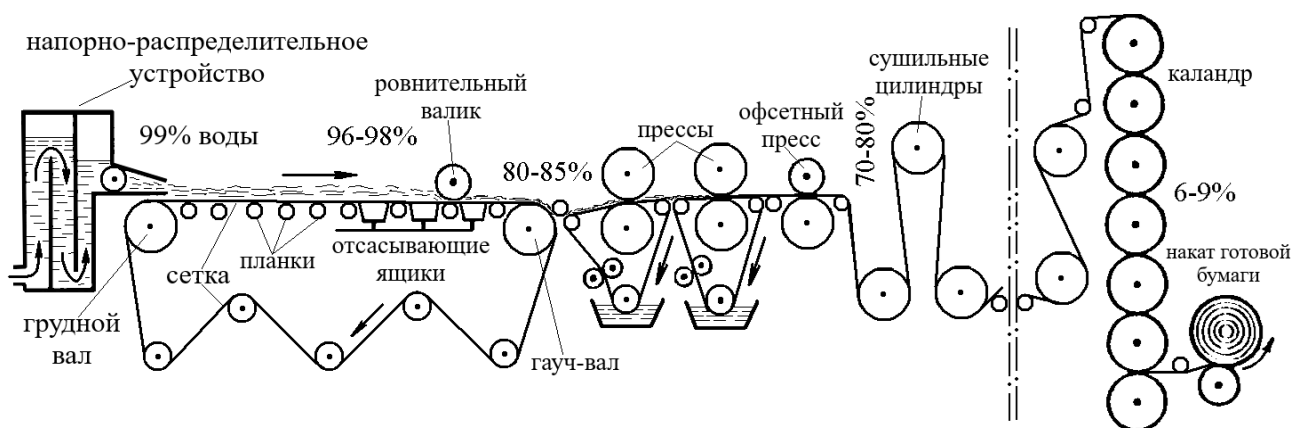


Рисунок 1 – Схема бумагоделательной машины

Наибольшие значения напряжений возникают в зонах локального пересушивания, где прочность может падать более чем на 40% по сравнению с соседними областями [8]. Экспериментальные данные свидетельствуют, что прочность на разрыв в краевой зоне (до 25 мм от кромки) на 20-30% ниже, чем в центральной части. Именно по краям инициируется до 62% обрывов в сушильной секции. Большую роль играет работа паровоздушной системы: при нарушении вентиляции влажность в кармане цилиндра растёт, градиент испарения падает, что приводит к неравномерной сушке. Забивание цилиндров конденсатом снижает коэффициент теплоотдачи на 60-80%, вызывая скачок нагрузки на привод и возможный обрыв [8].

Эволюция методов прогнозирования

В настоящее время в целлюлозно-бумажной промышленности сформировались три подхода к управлению обрывами: реактивный, проактивный и предиктивный. Реактивные системы (оптические, пневматические датчики) фиксируют лишь свершившийся факт разрыва полотна, инициируя аварийную остановку [2]. Это не предотвращает ущерб, оцениваемый в 6,25 тонн продукции за 90 минут простоя [5]. Проактивные меры (стабилизация состава массы, регламентное обслуживание) снижают частоту инцидентов, но не способны предсказывать новые комбинации рисков факторов [6, 7, 8]. Например, предиктивное обслуживание подшипников по вибродиагностике требует капитальных затрат и не учитывает технологические параметры сушки.

Наиболее перспективным является предиктивный подход на основе машинного обучения (МО). Однако внедрение сдерживается «проклятием редко-

сти»: доля обрывов в промышленных данных составляет менее 0,6%. Стандартные метрики (accuracy > 99,9%) становятся некорректными, требуют устойчивых показателей (AUPRC, MCC). Зарубежные аналоги (например, Andritz Metris OPP) демонстрируют рост эффективности до 93%, но являются закрытыми системами без интерпретации решений. Отечественные разработки часто ограничиваются статистическими методами (контрольные карты Шухарта), обеспечивающими упреждение не более 2-3 минут [6].

В работе оценена эффективность различных архитектур МО на промышленном датасете (18 399 записей, 124 события обрыва). Сравнение проводилось по робастным метрикам и прагматическим показателям (время упреждения, частота ложных срабатываний).

Таблица 1 – Сравнение моделей по критериям

Модель	AUPRC	F1	MCC	G-Mean	T_1 , мин	FAR, %
LSTM+XGBoost	0.818	0.782	0.592	0.689	4.0	0.23
LSTM (базовая)	0.541	0.512	0.418	0.501	2.8	0.68
XGBoost (только статистические признаки)	0.632	0.630	0.517	0.624	3.4	0.52
PCA+SVM	0.489	0.467	0.384	0.452	3.6	0.61
Random Forest	0.203	0.181	0.135	0.210	2.1	1.92

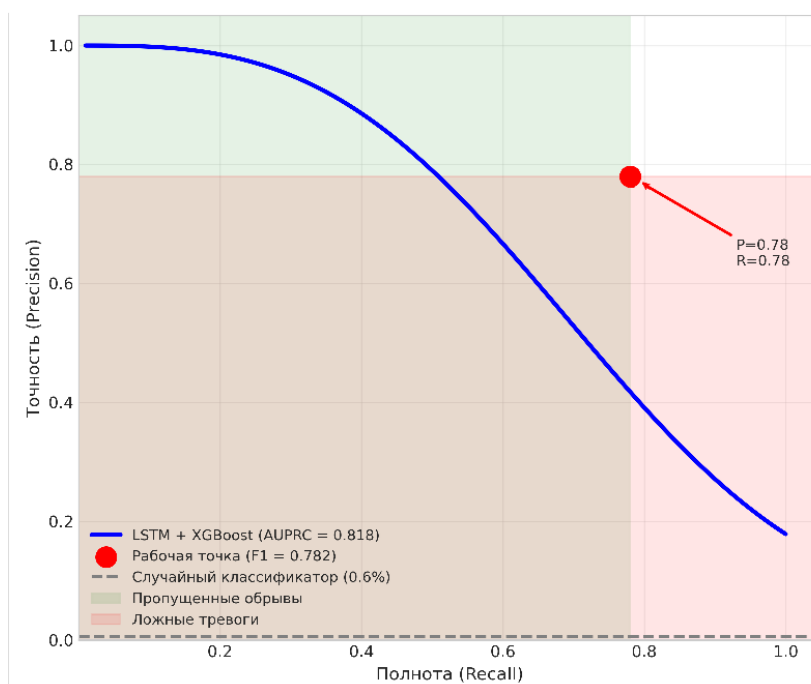


Рисунок 2 – Кривая Precision-Recall для гибридной модели

Гибридная архитектура превосходит аналоги по AUPRC на 29-45% (табл. 1). Время упреждения 4,0 мин превышает требуемый минимум (3 мин), позволяя оператору скорректировать параметры (скорость, давление пара) до наступления критической ситуации [6]. Частота ложных срабатываний (0,23/100 ч) находится в пределах операционной терпимости, что критично для доверия персонала.

Направление развития

Ключевой этап – формирование целевой переменной; простая фиксация обрыва бесполезна для прогноза. Данные размечаются с временным сдвигом: момент обрыва перемещается на интервал упреждения. Валидация на промышленных данных показала возможность стабильного предсказания за 4 минуты до события, что достаточно для базовой реакции оператора. Стратегическая цель – увеличение горизонта до 5-10 минут, что позволит автоматизировать корректирующие действия, такие как снижение скорости и перераспределение давления пара, и перейти к полуавтономному управлению участком сушки.

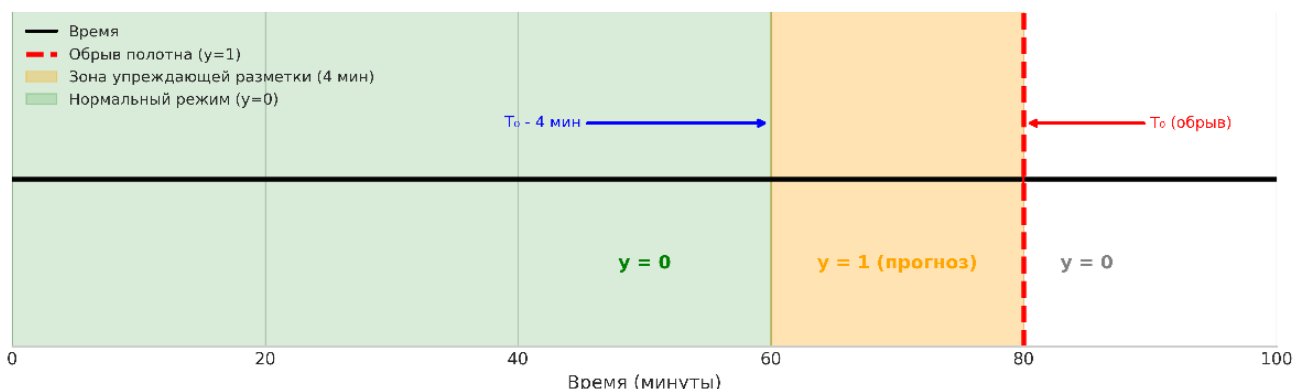


Рисунок 3 – Принцип формирования целевой переменной со сдвигом на 4 минуты

Превосходство гибридной архитектуры открывает перспективы промышленного внедрения, но требует решения трёх ключевых задач: преодоления дисбаланса классов, обеспечения интерпретируемости моделей и их интеграции в существующую инфраструктуру целлюлозно-бумажных комбинатов. Основной проблемой остаётся «проклятие редкости» данных: доля обрывов не превышает 0,6%. В работе применена комбинированная стратегия балансировки, включающая синтетическую аугментацию методов ADASYN и SMOTE, а также калибровку параметра `scale_pos_weight` в XGBoost. Это сместило акцент на робастные показатели – площадь под кривой (AUPRC = 0,818) и коэффициент Мэтьюса (MCC = 0,592), адекватно отражающие качество предсказаний редких событий. Важным аспектом является обеспечение доверия операторов. «Чёрный ящик»

без объяснений причин не будет принят персоналом. Интеграция SHAP-анализа позволяет оператору видеть не только вероятность обрыва, но и вклад каждого фактора. Например, значение x_{60_max} (вертикальное положение устройства) на верхней границе диапазона увеличивает вероятность обрыва на 12-15%.

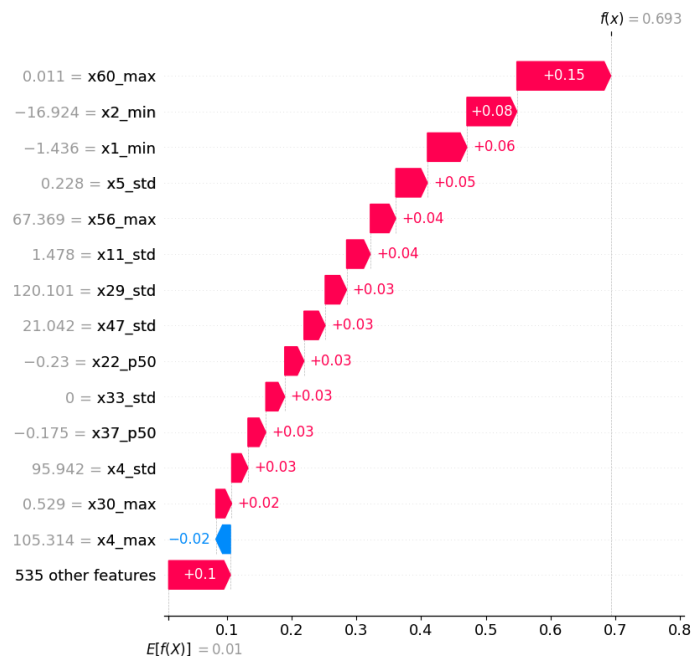


Рисунок 4 – Диаграммы водопада метода SHAP с влиянием каждого признака

Заключение

Основным трендом развития становится переход к предиктивному управлению на основе машинного обучения, что позволяет существенно снизить экономические потери от простоев оборудования. Гибридные архитектуры (LSTM + XGBoost) в сочетании с методами балансировки данных демонстрируют высокую эффективность даже в условиях дисбаланса классов.

Современные подходы должны создавать симбиоз рекуррентных сетей для анализа временных рядов, методов аугментации (SMOTE, ADASYN) и объяснимого ИИ (SHAP), чтобы обеспечить точность прогноза и доверие персонала.

Будущие исследования в данной сфере должны быть направлены на увеличение горизонта прогнозирования до 5–10 минут, внедрение полуавтономного управления участком сушки, а также глубокую интеграцию с существующей инфраструктурой ЦБК для минимизации ручного вмешательства.

Список литературы

1. Ковалева, О. П. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. Бумажная фабрика : учебное пособие для студентов / О. П. Ковалева. – Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2022. – 76 с. – ISBN 978-5-9239-1290-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/257846> (дата обращения: 30.05.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. О бумажном производстве – URL: <https://bumpro.narod.ru/about.html>.
3. Ajayi, O.O.; Kurien, A.M.; Djouani, K.; Dieng, L. A Proactive Predictive Model for Machine Failure Forecasting. *Machines* **2025**, *13*, 663. DOI 10.3390/machines13080663
4. Crisis looms over Russian pulp and paper industry amidst sanctions and plummeting Chinese demand – URL: https://www.lesprom.com/en/news/Crisis_looms_over_Russian_pulp_and_paper_industry_amidst_sanctions_and_plummeting_Chinese_demand_108802/.
5. Сушка бумаги - Технология бумаги (Химия) – URL: <https://studizba.com/lectures/himija/tehnologija-bumagi/26633-sushka-bumagi.html>.
6. H. Linnal, P. Moilanenl, J. Koskimies WEB TENSION MEASUREMENTS IN THE PAPER MILL – URL: <https://openresearch.okstate.edu/server/api/core/bitstreams/1fb0b6ab-5421-4e3c-a149-eb79c63bef15/content>.
7. Институт «Крона»: 6 вопросов экспертам – URL: <https://gofromagazine.com/6-voprosov-ekspertam.html>.
8. Samrachana Adhikari, Sharon-Lise Normand, Jordan Bloom, David Shahian, Sherri Rose, Revisiting Performance Metrics for Prediction with Rare Outcomes, 2021 Sep 1;30(10):2352–2366. doi: 10.1177/09622802211038754
9. G. Srinivasa Prasad, V.V. Raghavendra Rao Experience on Paper Machine Condition Monitoring A Case Study Highlighting Drying Cylinder Bearing Failures – URL: <https://ippta.co/wp-content/uploads/2021/01/IPPTA-153-37-44-Experience-on-Paper.pdf>.
10. M. Parola, S. Vuorinen, H. Linna, T. Kaljunen and N. Beletski. Modelling the Web Tension Profile in a Paper Machine. In The science of papermaking, Trans. of the XIIth Fund. Res. Symp. Oxford, 2001, (C.F. Baker, ed.), pp 759–781, FRC, Manchester, 2018. DOI: 10.15376/frc.2001.1.759.

References

1. Kovaleva, O. P. Pulp and paper production equipment. Paper factory : a textbook for students / O. P. Kovaleva. – Saint Petersburg : St. Petersburg State Technical University, 2022. – 76 p. – ISBN 978-5-9239-1290-6. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/257846> (date of request: 05/30/2026). – Access mode: for authorization. users.
2. About paper production – URL: <https://bumpro.narod.ru/about.html>
3. Ajayi, O.O.; Kurien, A.M.; Djouani, K.; Dieng, L. A Proactive Predictive Model for Machine Failure Forecasting. *Machines* 2025, 13, 663. DOI 10.3390/machines13080663
4. Crisis looms over Russian pulp and paper industry amidst sanctions and plummeting Chinese demand – URL: https://www.lesprom.com/en/news/Crisis_looms_over_Russian_pulp_and_paper_industry_amidst_sanctions_and_plummeting_Chinese_demand_108802/
5. Paper Drying - Paper Technology (Chemistry) – URL: <https://studizba.com/lectures/himija/tehnologija-bumagi/26633-sushka-bumagi.html>
6. H. Linnal, P. Moilanenl, J. Koskimies WEB TENSION MEASUREMENTS IN THE PAPER MILL – URL: <https://openresearch.ok-state.edu/server/api/core/bitstreams/1fb0b6ab-5421-4e3c-a149-eb79c63bef15/content>
7. The Krona Institute: 6 questions for experts – URL: <https://gofromagazine.com/6-voprosov-ekspertam.html>
8. Samrachana Adhikari, Sharon-Lise Normand, Jordan Bloom, David Shahan, Sherri Rose, Revisiting Performance Metrics for Prediction with Rare Outcomes, 2021 Sep 1;30(10):2352–2366. doi: 10.1177/09622802211038754
9. G. Srinivasa Prasad, V.V. Raghavendra Rao Experience on Paper Machine Condition Monitoring A Case Study Highlighting Drying Cylinder Bearing Failures – URL: <https://ippta.co/wp-content/uploads/2021/01/IPPTA-153-37-44-Experience-on-Paper.pdf>
10. M. Parola, S. Vuorinen, H. Linna, T. Kaljunen and N. Beletski. Modelling the Web Tension Profile in a Paper Machine. In *The science of papermaking*, Trans. of the XIIth Fund. Res. Symp. Oxford, 2001, (C.F. Baker, ed.), pp 759–781, FRC, Manchester, 2018. DOI: 10.15376/frc.2001.1.759.

ИНФРАСТРУКТУРНЫЙ УРОВЕНЬ ОПТИМИЗАЦИИ ИНФЕРЕНСА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ: ПЛАТФОРМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ МОДЕЛЕЙ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Н.В. Мерзляков¹, А.А. Семкин¹, Б.С. Матвийчук¹, Д.А. Седых¹, С.П. Дудник¹,
П.Д. Вытовтов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается инфраструктурный уровень оптимизации инференса нейронных сетей, включающий платформы обслуживания моделей, механизмы масштабирования и распределенных вычислений. Также проведен сравнительный анализ ведущих систем: NVIDIA Triton Inference Server, Ray Serve, vLLM и BentoML. Рассмотрены механизмы повышения эффективности: динамический батчинг, непрерывная агрегация запросов, управление памятью с помощью PagedAttention, а также стратегии автономного масштабирования. В статье затронут момент интеграции инфраструктурных решений с Kubernetes.

Ключевые слова: инференс нейронных сетей, обслуживание моделей, Triton Inference Server, Ray Serve, vLLM, динамический батчинг, PagedAttention, автомасштабирование, Kubernetes, распределенные вычисления.

INFRASTRUCTURE-LEVEL NEURAL NETWORK INFERENCE OPTIMIZATION: MODEL SERVING PLATFORMS AND DISTRIBUTED COMPUTING

N.V. Merzlyakov¹, A.A. Semkin¹, B.S. Matviychuk¹, D.A. Sedykh¹, S.P. Dudnik¹,
P.D. Vytovtov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the infrastructure layer for neural network inference optimization, including model serving platforms, scaling mechanisms, and distributed computing. A comparative analysis of leading systems is also provided: NVIDIA Triton Inference Server, Ray Serve, vLLM, and BentoML. Efficiency-enhancing mechanisms are discussed, including dynamic batching, continuous query aggregation, memory management using PagedAttention, and autonomous scaling strategies. The article also touches on the integration of infrastructure solutions with Kubernetes.

Keywords: neural network inference, model serving, Triton Inference Server, Ray Serve, vLLM, dynamic batching, PagedAttention, autoscaling, Kubernetes, distributed computing.

Введение

Развертывание моделей глубокого обучения в промышленной эксплуатации представляет собой многоуровневую инженерную задачу, выходящую далеко за рамки алгоритмической оптимизации отдельной модели. Если на уровне модели ключевыми являются методы компрессии: квантизации, прунинг и дистилляция, то на инфраструктурном уровне решаются задачи масштабируемого обслуживания запросов, эффективного распределения аппаратных ресурсов и обеспечения отказоустойчивости сервиса [1, 6].

Современные системы инференса должны одновременно удовлетворять нескольким конфликтующим требованиям: низкие задержки (латентность) для интерактивных приложений, высокая пропускная способность для пакетной обработки, экономичное использование GPU ресурсов и масштабирование под переменную нагрузку. Решение данной задачи требует специализированных платформ обслуживания моделей (model serving platforms). Как раз они реализуют механизмы динамического батчинга, маршрутизации запросов, управления репликами и интеграции с оркестрационными системами [3, 4].

Целью данной работы является систематизация и сравнительный анализ ведущих инфраструктурных решений для оптимизации инференса нейронных сетей: NVIDIA Triton Inference Server, Ray Serve, vLLM, and BentoML. В статье рассматриваются архитектурные принципы, а также механизмы повышения эффективности и области применения каждой из платформ.

Архитектура инфраструктуры инференса

Инфраструктура промышленного инференса представляет собой многослойную структуру, каждый слой которой решает специфический класс задач оптимизации (рис. 1). На верхнем уровне находятся клиентские интерфейсы (HTTP/REST, gRPC), через которые поступают запросы. Балансировщик нагрузки (как правило Kubernetes Ingress) распределяет запросы между репликами сервиса. Платформа обслуживания моделей управляет жизненным циклом моделей, выполняет батчинг запросов и маршрутизацию к соответствующим движкам инференса. Движки оптимизации (TensorRT, ONNX Runtime, TVM) выполняют непосредственно вычисления на целевом оборудовании [3, 5, 8].

Данная многоуровневая архитектура позволяет оптимизировать инференс на каждом из уровней независимо: платформа обслуживания отвечает за эффективное использование ресурсов GPU через батчинг и параллелизм, а движки оптимизации – за минимизацию времени выполнения отдельного запроса [2, 7].

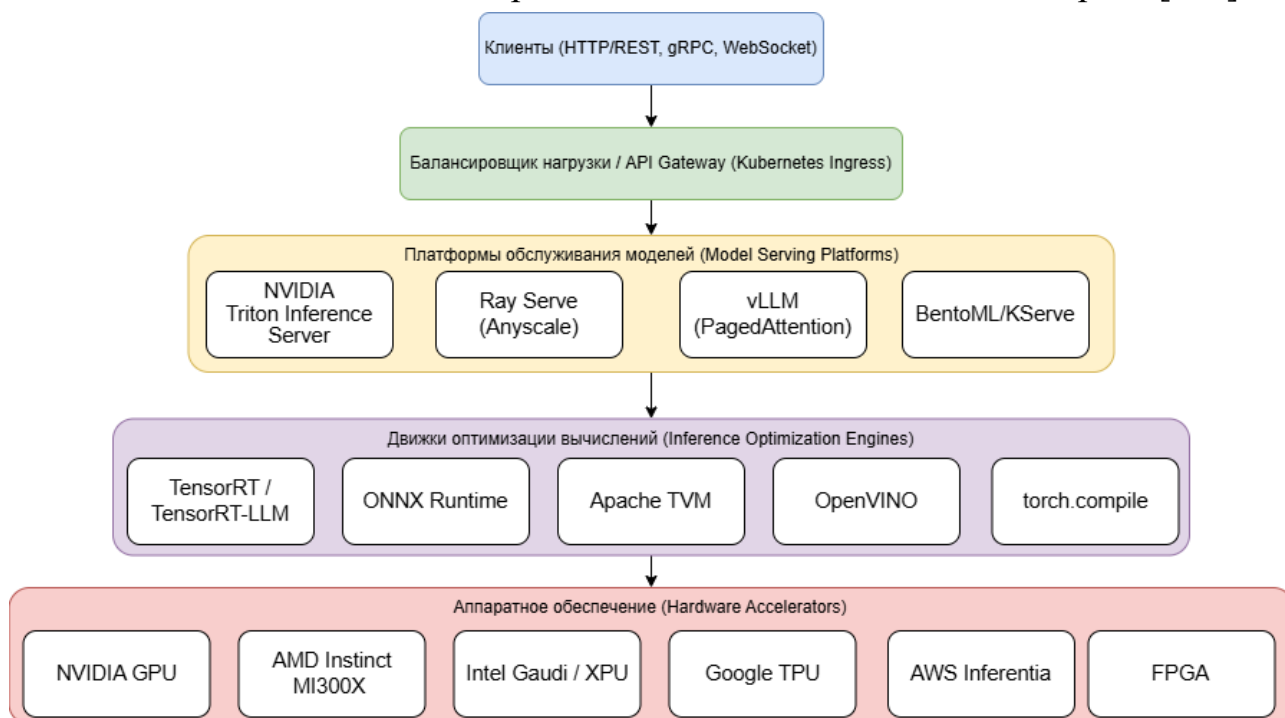


Рисунок 1 – Многослойная архитектура инфраструктуры инференса нейронных сетей

Платформы обслуживания моделей

NVIDIA Triton Inference Server (ранее известный как TensorRT Inference Server, в 2025 году переименованный в NVIDIA Dynamo Triton) представляет собой открытую платформу для высокопроизводительного обслуживания моделей, поддерживающую множество фреймворков глубокого обучения: TensorRT, PyTorch, TensorFlow, ONNX Runtime и OpenVINO. Архитектурно Triton состоит из репозитория моделей (файловое хранилище конфигураций и весов), планировщиков, которые реализуют механизм батчинга, и бэкендов, выполняющих инференс [3, 5].

Ключевыми возможностями Triton являются: динамический батчинг с настраиваемыми параметрами для каждой модели, поддержка одновременного обслуживания множества моделей на одном GPU (механизм instance groups), ансамбли моделей (model ensembles), с помощью них можно организовывать пайплайны с передачей данных без копирования между этапами, а также последовательный батчер для моделей с состоянием (RNN, LSTM). По результатам

бенчмарков MLPerf Inference v4.1, Triton показал производительность идентичную чистому инференсу без сервера обслуживания. Это показывает отсутствие значимых накладных расходов [5, 15].

Ray Serve – высокоуровневая библиотека обслуживания моделей, построенная поверх распределённого фреймворка Ray. Отличительной особенностью Ray Serve является программируемость: логика описывается на Python без необходимости конфигурационных файлов. Каждая реплика модели представлена как Ray-актор, что обеспечивает параллельное выполнение и изоляцию [4, 1].

Ray Serve поддерживает композицию моделей – построение сложных пайплайнов инференса, объединяющих несколько моделей и произвольную бизнес-логику в единый Python-модуль. Платформа реализует гибкое распределение ресурсов, включая частичное выделение GPU (fractional GPUs), динамическое масштабирование реплик на основе метрик нагрузки, а также пользовательские маршрутизации запросов. Интеграция с Kubernetes осуществляется через KubeRay. Это позволяет управлять кластерами Ray в оркестрированных средах. Компания Character AI использует Ray Serve для обслуживания десятков миллионов пользователей ежедневно [4, 10].

vLLM – специализированный движок инференса для больших языковых моделей (LLM), разработанный в лаборатории Sky Computing Lab Калифорнийского университета в Беркли. К концу 2024 года vLLM стал де-факто стандартом для обслуживания LLM в среде открытого программного обеспечения, поддерживая более 100 модельных архитектур [11, 12]. Инновацией vLLM является алгоритм PagedAttention, который вносит новый подход в управление кэшем ключей-значений (KV-кэш) при инференсе. В отличие от традиционных подходов, выделяющих непрерывные блоки памяти GPU для каждого запроса, PagedAttention разбивает KV-кэш на блоки фиксированного размера, хранимые в непоследовательных участках памяти. Данный подход устраняет фрагментацию и позволяет совместно использовать память между запросами. Результатом является увеличение пропускной способности до 24 раз по сравнению с традиционными системами обслуживания LLM [11, 12].

Помимо PagedAttention, vLLM реализует механизм непрерывного батчинга (continuous batching), при котором новые запросы могут добавляться в обрабатываемый пакет без ожидания завершения текущих, что существенно повышает эффективное использование GPU. Поддерживаются тензорный, конвейерный и экспертный параллелизм для распределённого инференса на нескольких GPU [12, 13].

BentoML представляет собой фреймворк, ориентированный на объединение процесса упаковки, развёртывания и масштабирования ML-моделей с акцентом на простоте использования. **KServe** (ранее KFServing) – серверлесс-платформа для инференса на Kubernetes, предоставляющая стандартизированный интерфейс для развёртывания моделей с автоматическим масштабированием, включая масштабирование до нуля реплик при отсутствии нагрузки. Обе платформы интегрируются с движками оптимизации (TensorRT, ONNX Runtime) и обеспечивают мониторинг посредством Prometheus и Grafana [9, 14].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики платформ обслуживания моделей

Характеристика	Triton	Ray Serve	vLLM	BentoML
Специализация	Универсальная	Композиция моделей	LLM-инференс	MLOps-конвейер
Динамический батчинг	Да (можно настраивать)	Да	Continuous batching	Adaptive batching
Протоколы	HTTP, gRPC, C API	HTTP, gRPC, Python	OpenAI-compatible API	HTTP, gRPC
Мультимодельность	Да (ансамбли)	Да (композиция)	Нет (1 модель)	Да
Автомасштабирование	Через K8s	Встроенное	Через K8s	Встроенное
Оптимизация памяти LLM	KV-кэш + AQUA	Через vLLM бэкэнд	PagedAttention	Через бэк-енды
Лицензия	BSD-3	Apache 2.0	Apache 2.0	Apache 2.0

Механизмы повышения эффективности инференса

Динамический батчинг является фундаментальным механизмом повышения эффективности GPU при инференсе. Вместо обработки каждого запроса по отдельности, сервер обслуживания накапливает входящие запросы в буфере в течение какого-то времени и формирует из них единый пакет для параллельного выполнения. NVIDIA Triton реализует настраиваемый динамический батчер с параметрами максимального размера пакета и максимального времени ожидания, настраиваемыми для каждой модели. Данный механизм существенно повышает пропускную способность при умеренном увеличении задержек (латентности) отдельного запроса [3, 5].

Непрерывный батчинг (continuous batching). Для задач генеративного инференса, где длины выходных последовательностей различаются, традиционный

статический батчинг неэффективен, так как все запросы в пакете должны ожидать завершения самого длинного. Непрерывный батчинг, реализованный в vLLM, решает эту проблему: завершённые запросы немедленно извлекаются из пакета, а на освободившееся место помещаются новые. По данным исследований, непрерывный батчинг обеспечивает увеличение пропускной способности до 23 раз при снижении усредненной латентности [11, 12].

Управление памятью. Для больших языковых моделей KV-кэш внимания является основным потребителем памяти GPU при инференсе. Алгоритм PagedAttention (vLLM) управляет KV-кэшем с помощью таблиц блоков, отображающих логические блоки на физические участки памяти, аналогично таблицам страниц в операционных системах. Это позволяет разделять физическую память между запросами, использующими общие префиксы промптов, и устраняет разделения при динамическом изменении длин последовательностей [11, 12]. Система AQUA (Adaptive QUeuing and Allocation), интегрированная с Triton, обеспечивает гибкое управление очередями и распределением памяти для обслуживания нескольких независимых LLM-развёртываний [5].

Автоматическое масштабирование. Ray Serve предоставляет наиболее гибкую систему автомасштабирования среди рассмотренных платформ, поддерживающую не только масштабирование на основе текущей нагрузки, но и программируемые стратегии через API. Это позволяет интегрировать решения в более широкий круг задач – от бизнес-процессов до MLOps-конвейеров. KServe реализует серверлесс-модель с масштабированием до нуля, что оптимально для сервисов с нерегулярной нагрузкой [4, 2].



Рисунок 2 – Сравнение платформ обслуживания моделей по ключевым характеристикам

Интеграция с системой оркестрации

Промышленное развёртывание систем инференса тесно связано с контейнерной оркестрацией на базе Kubernetes. Triton Inference Server предоставляет готовые Docker-образы и интегрируется с Kubernetes через стандартные механизмы (endpoints здоровья, метрики Prometheus). Ray Serve интегрируется с Kubernetes посредством оператора KubeRay, управляющего жизненным циклом кластеров Ray в оркестрированной среде. Проект llm-d, запущенный компаниями Google и Red Hat, реализует распределённую Kubernetes-нативную подачу LLM на основе vLLM [4, 13].

Мониторинг производительности инференса осуществляется через стек Prometheus + Grafana, собирающий метрики использования GPU, латентности, пропускной способности и размера очередей. Triton предоставляет встроенные эндпоинты метрик, Ray Serve интегрируется с собственной панелью мониторинга Ray Dashboard, а также экспортирует метрики для внешних систем наблюдаемости [3, 4, 16].

Заключение

Инфраструктурный уровень оптимизации инференса очень важен в обеспечении качества сервисов на основе нейронных сетей. Каждая из рассмотренных платформ занимает свою нишу: NVIDIA Triton обеспечивает максимальную производительность и поддержку многих фреймворков для серверного развёртывания; Ray Serve – наибольшую гибкость для объединения моделей и программируемого масштабирования; vLLM – оптимальную эффективность для задач генеративного инференса LLM; BentoML и KServe – удобство MLOps-конвейеров и серверлесс-развёртываний.

Сейчас мировым трендом выступает сближение уровней: платформы обслуживания всё теснее интегрируются с движками низкоуровневой оптимизации (Triton + TensorRT, Ray Serve + vLLM), создавая готовые решения. Перспективными направлениями развития являются: адаптивная маршрутизация запросов с учётом локальности кэша; разделение фаз prefill и decode для независимого масштабирования; интеграция с нейроморфными и квантовыми ускорителями; а также развитие стандартизированных интерфейсов, обеспечивающих портативность между платформами и аппаратным обеспечением.

Список литературы

1. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределённых облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.
2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 28-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-28-44.
3. Документация NVIDIA Triton Inference Server. URL: <https://docs.nvidia.com/deeplearning/triton-inference-server/> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Документация Ray Serve. URL: <https://docs.ray.io/en/latest/serve/index.html> (дата обращения: 10.02.2026).
5. Элмелиджи А. NVIDIA Triton Inference Server достигает выдающейся производительности в бенчмарках MLPerf Inference 4.1 // NVIDIA Developer Blog. 2024. URL: <https://developer.nvidia.com/blog/nvidia-triton-inference-server-achieves-outstanding-performance-in-mlperf-inference-4-1-benchmarks/> (дата обращения: 10.02.2026).
6. Ачкасов, А. В. Применение нейронных сетей для оптимизации энергопотребления СБИС / А. В. Ачкасов, А. С. Ягодкин, Ф. В. Макаренко, Н. Ю. Зеленская // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-7-16.
7. Ачкасов, Д. А. Изучение и моделирование эвристических алгоритмов оптимизации / Д. А. Ачкасов, К. В. Зольников, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 17-28. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-17-28.
8. Курипта, О. В. Архитектурное решение проектирования сервисов пространственно-временной навигации в образовательных учреждениях / О. В. Курипта, О. В. Минакова, И. В. Поцбнева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 65-72. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-65-72. – EDN CNSEZA.
9. Бугаев, Ю. В. Анализ моделей и алгоритмов оптимизации раскрытия одномерных лесоматериалов / Ю. В. Бугаев, Л. А. Коробова, И. Ю. Шурупова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 23-31. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-23-31. – EDN MRHWHP.

10. Ray Summit 2025: Agenda. URL: <https://www.anyscale.com/ray-summit/2025/agenda> (дата обращения: 10.02.2026).
11. Квон В. и др. Эффективное управление памятью для подачи больших языковых моделей с помощью PagedAttention // Proc. SOSP. 2023.
12. vLLM: ретроспектива 2024 года и видение 2025 // vLLM Blog. 2025. URL: <https://blog.vllm.ai/2025/01/10/vllm-2024-wrapped-2025-vision.html> (дата обращения: 10.02.2026).
13. Документация vLLM. URL: <https://docs.vllm.ai/en/latest/> (дата обращения: 10.02.2026).
14. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.
15. Бантюков, С. М. Создание интеллектуальной системы управления качеством предприятия «Эталон» в авиационной промышленности / С. М. Бантюков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23. – EDN YHXUPY.
16. Аль-Кахтани и др. Ускорение инференса глубокого обучения: сравнительный анализ современных фреймворков ускорения // Electronics. 2025. Т. 14, № 15. Ст. 2977. DOI: 10.3390/electronics14152977.

References

1. Mochalov V.P., Bratchenko N.Yu., Gosteva D.V. Algorithm for Dynamic Load Distribution and Balancing in Distributed Cloud Computing // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 92-102. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102.
2. Zolnikov V.K., Sazonova S.A., Anikeev E.A. Modeling the Distribution of Channel Resources in a Corporate Communication Network // Modeling of Systems and Processes. 2025. Vol. 18, No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.
3. NVIDIA Triton Inference Server Documentation. URL: <https://docs.nvidia.com/deeplearning/triton-inference-server/> (accessed: 10.02.2026).
4. Ray Serve Documentation. URL: <https://docs.ray.io/en/latest/serve/index.html> (accessed: 10.02.2026).
5. Elmeleegy A. NVIDIA Triton Inference Server Achieves Outstanding Performance in MLPerf Inference 4.1 Benchmarks // NVIDIA Developer Blog. 2024. URL:

<https://developer.nvidia.com/blog/nvidia-triton-inference-server-achieves-outstanding-performance-in-mlperf-inference-4-1-benchmarks/> (accessed: 10.02.2026).

6. Achkasov A.V., Yagodkin A.S., Makarenko F.V., Zalenskaya N.Yu. Application of Neural Networks for Power Consumption Optimization in VLSI Circuits // Modeling of Systems and Processes. 2025. Vol. 18, No. 1. Pp. 7-16. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-7-16.

7. Achkasov D.A., Zolnikov K.V., Litvinov N.N. Study and Modeling of Heuristic Optimization Algorithms // Modeling of Systems and Processes. 2025. Vol. 18, No. 1. Pp. 17-28. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-17-28.

8. Kuripta O.V., Minakova O.V., Potsebnaya I.V. Architectural Solution for Designing Spatiotemporal Navigation Services in Educational Institutions // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 65-72. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-65-72.

9. Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Shurupova I.Yu. Analysis of Models and Algorithms for Optimizing One-Dimensional Lumber Cutting // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 23-31. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-23-31.

10. Ray Summit 2025: Agenda. URL: <https://www.anyscale.com/ray-summit/2025/agenda> (accessed: 10.02.2026).

11. Kwon W. et al. Efficient Memory Management for Large Language Model Serving with PagedAttention // Proc. SOSP. 2023.

12. vLLM: 2024 Retrospective and 2025 Vision // vLLM Blog. 2025. URL: <https://blog.vllm.ai/2025/01/10/vllm-2024-wrapped-2025-vision.html> (accessed: 10.02.2026).

13. vLLM Documentation. URL: <https://docs.vllm.ai/en/latest/> (accessed: 10.02.2026).

14. Yurchishina M.V., Bushmeleva K.I. Algorithmic Model of the DSS 'Optimal Curriculum' // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 84-95. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

15. Bantyukov S.M. Development of an Intelligent Quality Management System 'Etalon' in Aviation Industry // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 15-23. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23.

16. Alqahtani et al. Accelerating Deep Learning Inference: A Comparative Analysis of Modern Acceleration Frameworks // Electronics. 2025. Vol. 14, No. 15. Art. 2977. DOI: 10.3390/electronics14152977.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ДАННЫХ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПОТЕРЯМИ ДЛЯ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Е.О. Мишушина¹, И. Бенамри¹, Дж. В. Аботчие¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена разработке алгоритмов сжатия без потерь с регулируемыми параметрами для систем Интернета вещей в условиях ресурсных ограничений. Рассмотрены особенности IoT-данных и требования к энергоэффективности. Проанализированы современные методы, включая адаптивные алгоритмы (SZ4IoT), многоуровневые архитектуры и комплексные подходы, объединяющие сжатие с шифрованием. Систематизированы метрики оценки эффективности. Определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: Интернет вещей, сжатие данных с регулируемыми потерями, энергоэффективность, адаптивные алгоритмы, обработка сигналов, временные ряды, SZ4IoT, многоуровневые архитектуры, метрики сжатия, встроенные системы.

DEVELOPMENT OF LOSSY DATA COMPRESSION ALGORITHMS WITH ADJUSTABLE QUALITY FOR INTERNET OF THINGS SYSTEMS

E.O. Mishushina¹, I. Benamri¹, J.V. Abotchie¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article focuses on the development of lossless compression algorithms with adjustable parameters for Internet of Things systems under resource constraints. It examines the specific characteristics of IoT data and the requirements for energy efficiency. The study analyzes modern methods, including adaptive algorithms (SZ4IoT), multi-level architectures, and integrated approaches combining compression and encryption. Performance metrics are systematized, and future research directions are outlined.

Keywords: Internet of Things, lossy data compression, energy efficiency, adaptive algorithms, signal processing, time series, SZ4IoT, multi-level architectures, compression metrics, embedded systems.

Введение

Бурный рост сегмента Интернета вещей спровоцировал настоящий «информационный взрыв» на периферии сетей. Согласно свежим прогнозам, уже к 2025 году совокупный «урожай» данных с подключенных устройств превысит отметку в 79,4 зеттабайт. При этом большинство таких устройств функционируют в условиях жестких ограничений: автономное питание, ограниченная вычислительная мощность, малый объем памяти и низкая пропускная способность каналов связи. Традиционные методы сжатия данных, разработанные для стационарных вычислительных систем, часто оказываются неприменимыми в контексте IoT из-за высокой вычислительной сложности и энергопотребления. Эмпирически доказано, что некорректная реализация классических методов сжатия на ресурсно-ограниченных устройствах может привести к худшей энергоэффективности по сравнению с передачей несжатых данных.

Актуальность и особенности сжатия данных в Интернете вещей

Стремительное развитие Интернета вещей привело к экспоненциальному росту объемов информации, генерируемой периферийными устройствами. По различным оценкам, к 2025 году объем данных, создаваемых IoT-устройствами, достигнет десятков зеттабайт, при этом только устройства Интернета вещей будут генерировать более 180 зеттабайт новых данных ежегодно.

В контексте Индустрии 4.0 эта тенденция приобретает особенно масштабный характер, поскольку промышленные IoT-системы соединяют огромное количество интеллектуальных датчиков с последующим сбором данных для аналитических приложений. Большинство IoT-устройств функционируют в условиях жестких ресурсных ограничений – автономное питание, невысокая вычислительная мощность, малый объем памяти и низкая пропускная способность каналов связи. Традиционные методы сжатия данных, разработанные для стационарных вычислительных систем, часто оказываются неприменимыми в контексте IoT из-за высокой вычислительной сложности и энергопотребления. Исследования подтверждают, что некорректная реализация классических методов сжатия на ресурсно-ограниченных устройствах может привести к худшей энергоэффективности по сравнению с передачей несжатых данных.

Особый интерес представляют алгоритмы сжатия с регулируемыми потерями, позволяющие достигать компромисса между степенью сжатия и точностью восстановления сигнала в зависимости от текущих требований приложения

и состояния канала связи. В мониторинговых IoT-сетях, ориентированных на длительный сбор данных с датчиков, такой подход открывает возможности для существенного увеличения времени автономной работы и снижения нагрузки на каналы связи. Сжатие с потерями позволяет получить хороший коэффициент сжатия, сохраняя качество данных и минимизируя ошибки компрессии.

Как показывают исследования, внедрение эффективных алгоритмов сжатия позволяет улучшить пропускную способность системы на 255%, сократить потребление полосы пропускания на 94% и уменьшить объем хранимых данных на 98%. При этом важно понимать, что выходное качество не обязательно становится ниже только потому, что часть данных теряется – например, случайный шум обычно имеет чрезвычайно высокое информационное содержание, но мы обычно готовы игнорировать его при передаче, а определенные потери в звуке или изображениях могут быть настолько незначительными, что наблюдатель никогда их не заметит.

Данные в системах Интернета вещей обладают рядом характеристик, которые необходимо учитывать при разработке алгоритмов сжатия. Прежде всего это периодичность и предсказуемость, поскольку большинство сенсорных данных представляют собой временные ряды с высокой степенью временной корреляции. Временные ряды, генерируемые датчиками, обладают такими особенностями, как избыточность (некоторые сегменты временного ряда могут часто появляться внутри того же или других связанных временных рядов), аппроксимируемость (возможность приближения функциями) и предсказуемость (некоторые временные ряды могут быть предсказаны, например, с использованием методов глубоких нейронных сетей). Важно также учитывать ограниченную точность измерений физических величин, что создает естественный порог допустимых потерь при сжатии.

Исследователи отмечают, что временные ряды в IoT-системах часто содержат продолжительные периоды постоянных значений – например, в системах мониторинга утечек газа показатели длительное время остаются нулевыми, что создает значительную избыточность, которую можно эффективно устранять. Разнородность типов данных означает, что IoT-системы обрабатывают сигналы различной природы: температура, давление, вибрация, электрокардиограмма, видеопотоки. При этом характер сигнала может изменяться во времени, что требует адаптации параметров сжатия.

Ключевое требование к алгоритмам сжатия для IoT – минимизация энергопотребления. В типовой архитектуре IoT-устройства основными потребителями энергии являются микроконтроллер, радиомодуль и память. Исследования показывают, что затраты энергии на передачу одного бита данных могут на несколько порядков превышать затраты на выполнение одной инструкции процессора, что создает предпосылки для применения вычислительно-интенсивных методов сжатия, если они позволяют существенно сократить объем передаваемых данных.

Коммуникационные системы составляют важнейшую инфраструктуру для объектов IoT, и даже с появлением низкопотребляющих сетей эти системы остаются ответственными за значительное энергопотребление устройств. Из-за ограничений по питанию некоторых IoT-систем это потребление становится проблемой, которую необходимо решать. Обработка больших наборов данных требует еще больше вычислительных ресурсов и времени выполнения, а большой объем собираемых данных, которые необходимо хранить в туманах и облаках, влечет за собой высокие денежные затраты, поскольку эти системы, как правило, взимают пропорциональные суммы за хранимые данные. Специфика автономных устройств исключает применение вычислительно сложных алгоритмов на их стороне, поэтому перспективными являются распределенные подходы, основанные на концепции периферийных вычислений.

Современные методы сжатия с регулируемыми потерями

Современные методы сжатия данных для беспроводных сенсорных сетей можно классифицировать на четыре основные категории: сжатие на основе строк, сжатие на основе изображений, распределенное кодирование источников и сжатое зондирование. Каждая из этих категорий предлагает различные подходы к сокращению объема данных с учетом специфики IoT-систем. Особого внимания заслуживают адаптивные алгоритмы, способные изменять параметры сжатия в зависимости от характеристик сигнала и состояния сети. В контексте сжатия временных рядов алгоритмы могут быть классифицированы по их подходу (словарные, функциональной аппроксимации, автоэнкодеры, последовательные и другие) и свойствам (адаптивность, возможность восстановления без потерь, симметричность, настраиваемость максимальной ошибки или минимального коэффициента сжатия).

Перспективное направление в сжатии мониторинговых данных основано на выделении наиболее информативных отсчетов сигнала. Согласно сигнальному подходу, предлагается определять амплитудно-временные или амплитудно-числовые параметры наиболее информативных отсчетов сигналов и видеосигналов в темпе ввода мониторинговых данных. Это экстремумы и точки перегиба или точки изменения движения кривой. Такой подход включает адаптивную фильтрацию сигналов и видеоданных, компактное кодирование параметров существенных отсчетов и операционное сжатие-защиту без потерь. Преимуществом данного подхода является возможность регулирования степени сжатия путем изменения пороговых значений для идентификации экстремумов. Большинство процессов, подлежащих мониторингу и изучению, представляют собой непрерывную временную функцию, и каждый входной сигнал характеризуется минимальными и максимальными значениями амплитуды и частотных параметров. Наиболее информативными отсчетами сигнала или пикселей видеосигнала являются экстремумы и точки перегиба кривой, то есть точки изменения выпуклости огибающей.

Алгоритм SZ4IoT и его место среди решений для сжатия

Одна из самых проработанных реализаций сжимающего алгоритма с регулируемыми потерями для интернета вещей – это SZ4IoT. По сути, облегчённая версия компрессора SZ, которую приспособили для микроконтроллеров с скудными ресурсами. Он локальный, нераспределённый, интерполяционный. Поддерживает одномерные и многомерные временные ряды. Работает на платформах ESP32, Teensy 4.0, RP2040, и ему всё равно, какой тип сенсорных данных приходит.

Что показали эксперименты? Коэффициент сжатия у SZ4IoT в 2–3 раза выше, чем у существующих аналогов. Если брать конкретные цифры: он обгоняет LTC в три раза, WQT RLE – в два, K RLE – в два раза. Энергопотребление на данных объёмом 40 КБ тоже ниже. По сравнению с K RLE – экономия 31,4%, с LTC – 29,4%, с WQT RLE – 27,3%. Важная фишка SZ4IoT – можно управлять степенью потерь через параметр ошибки. То есть алгоритм сам подстраивается под разные типы данных и требования приложений. В статье также смотрят, как стационарные и нестационарные наборы данных влияют на коэффициент сжатия.

Другие известные методы сжатия с потерями

Lightweight Temporal Compression (LTC) – простой метод временного сжатия, его предлагали для микроклиматических данных. Исследователи показали, что LTC работает примерно как вейвлет-сжатие и LZW, но жрёт минимум процессорного времени и почти не требует памяти. Для маломощных устройств – самое то.

В другом исследовании Azar с коллегами использовали быстрое сжатие с потерями с ограничением ошибки. Сжимали агрегированные данные прямо перед передачей – а передача, как известно, самый прожорливый по энергии этап в IoT-устройстве. На следующем этапе они восстанавливали переданные данные на граничном узле и уже их обрабатывали методами глубокого обучения с учителем.

Гибридные и комплексные подходы

Перспективная штука – многоуровневые архитектуры, где на разных этапах обработки комбинируют разные методы. Гибридные подходы могут дать хороший коэффициент сжатия без увеличения ошибки. Они могут переключаться между режимом без потерь и режимом с потерями – в зависимости от того, что нужно приложению.

Ещё есть схема, где сжатие, шифрование и помехоустойчивое кодирование объединяют в один процесс. Это не просто сокращение объёма данных, но и их защита. Предлагают использовать одноразовые шифры – по сути, правила и параметры генерации криптостойких псевдослучайных массивов данных определённой длины. Эти правила и параметры знают только передатчик и получатель. И они используются в процессе сжатия (и с потерями, и без), в процессе криптостойкого и помехоустойчивого формирования пакетов ограниченной длительности с повышенной информационной ёмкостью.

Метрики оценки и направления развития

Чтобы корректно сравнивать алгоритмы сжатия с регулируемыми потерями, нужно смотреть на три характеристики: коэффициент сжатия, скорость и точность. Коэффициент сжатия – это размер сжатого представления, делённый на размер исходного ряда. Для IoT-систем ещё важен показатель сокращения объёма передаваемых данных. Точность (она же искажение) – насколько восстановленный ряд похож на оригинал. Для измерения используют разные метрики.

Самые частые метрики ошибки восстановления – нормированная средне-квадратичная ошибка (NRMSE), процентная разница среднеквадратичных значений и максимальная абсолютная ошибка. Какую брать – зависит от типа данных и требований приложения.

Энергетическую эффективность считают так: учитывают энергию на сжатие и распаковку, а также энергию, которую сэкономили за счёт уменьшения объёма передачи. Важный интегральный показатель – чистая экономия энергии (с вычетом затрат на компрессию). Для устройств с ограниченными ресурсами критичны ещё объём требуемой памяти, время выполнения сжатия/распаковки, количество тактов процессора. В обзорах по сжатию данных в беспроводных сенсорных сетях для здравоохранения исследователи оценивают методы по куче критериев: коэффициент сжатия, сложность, сэкономленная энергия, минимизация передачи, энергопотребление, чистая экономия, энергоэффективность, надёжность, масштабируемость.

Требования к перспективным алгоритмам

На основе анализа текущего состояния можно сформулировать, какими должны быть будущие алгоритмы сжатия для IoT.

Адаптивность – чтобы могли автоматически настраивать параметры под свойства сигнала и состояние канала.

Управляемость потерями – чтобы гарантированно обеспечивалась заданная точность восстановления с указанием максимально допустимой ошибки.

Асимметричность – высокая вычислительная сложность на сжатии допустима, но распаковка должна быть максимально лёгкой, потому что она выполняется на шлюзе или сервере.

Универсальность – способность работать с разными типами данных без переделки алгоритма.

Энергоэффективность – чистая экономия энергии должна быть положительной во всех режимах работы.

Масштабируемость – возможность работать с разными объёмами данных и на разных железках.

Перспективные направления исследований

Анализ литературы показывает, куда двигаться дальше.

Методы машинного обучения для предсказания оптимальных параметров сжатия на основе истории сигнала – это очень интересно. Особенно облегчённые

модели, которые выполняются прямо на микроконтроллерах. В последние годы появились работы, где автоэнкодеры используют для сжатия научных данных и биометрических паттернов – коэффициенты сжатия получаются высокими.

Актуальна разработка методов, которые учитывают не только статистику сигнала, но и смысловую значимость отдельных отсчётов. В медицинских приложениях некоторые фрагменты сигнала могут требовать более точной передачи – их нельзя так просто сжимать.

Важное направление – согласовывать параметры сжатия с характеристиками физического уровня передачи данных: уровнем помех, доступной полосой, остатком энергии в батарее.

Ещё одна важная тенденция – смещение обработки данных на границу сети, так называемый туманный тучей (fog computing). По опросам специалистов, 37% респондентов считают, что через несколько лет большую часть IoT-данных будут обрабатывать локально, на границе. В облако будут уходить только аварийные уведомления и сообщения о нештатках. Это не только сокращает трафик, но и повышает скорость реакции – для приложений реального времени это критично.

К сожалению, единых стандартов оценки алгоритмов сжатия для IoT пока нет. Сравнивать разные подходы сложно. Нужны бенчмарки и референтные наборы данных. Современные исследования подчёркивают, что важен хорошо сконфигурированный полный конвейер сжатия, а не отдельные компоненты. Нужны комплексные руководства, как выбирать и комбинировать алгоритмы под конкретные наборы временных рядов.

И наконец – нужно развивать методы совместного выполнения сжатия, шифрования и помехоустойчивого кодирования в одном вычислительном процессе. Это не только сжимает данные, но и защищает их при передаче по каналам с ограниченными ресурсами.

Заключение

В статье показано, что эффективное функционирование IoT-систем в условиях ресурсных ограничений невозможно без применения алгоритмов сжатия с регулируемыми потерями. Установлено, что адаптивные методы (SZ4IoT) обеспечивают двукратное повышение коэффициента сжатия и снижение энергопотребления до 31% по сравнению с традиционными подходами.

Определены ключевые требования к перспективным алгоритмам: адаптивность, управляемость потерями, энергоэффективность. Дальнейшие исследования целесообразно направить на интеграцию методов машинного обучения, создание семантически-ориентированных алгоритмов и унификацию метрик оценки эффективности.

Список литературы

1. Моделирование систем и процессов: научный журнал / Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. – Воронеж, 2008 —. — ISSN 2949-5001 (Online), 2311-9110 (Print). — URL: <https://journal.vgltu.ru/> (дата обращения: 17.02.2026).
2. Чьярот Г., Сильвестри К. Обзор методов сжатия временных рядов // ACM Computing Surveys. 2023. Т. 55. № 10. С. 1-36. DOI: 10.1145/3560814.
3. Идрис С. К., Азар Д., Кутюрье Р., Идрис А. К., Гехтер Ф. SZ4IoT: адаптивный легковесный алгоритм сжатия с потерями для различных устройств Интернета вещей и типов данных // The Journal of Supercomputing. 2025. Т. 81. Ст. № 392. DOI: 10.1007/s11227-024-06667-9.
4. Андраде М., Амарал М., Медирос М., Силва М., Сильва И., Гафурини М., Брандао Д., Феррари П. Автоэнкодеры для сжатия данных встраиваемых датчиков: пример применения в автомобильных системах Интернета вещей // 2025 IEEE 30-я Международная конференция по новым технологиям и промышленной автоматизации (ETFA). Порту, 2025. С. 1-8. DOI: 10.1109/ETFA65518.2025.11205629.
5. Ли Б., Сарбишей О., Нурани Х., Глатар Т. Многомерное расширение метода легковесного временного сжатия // arXiv. 2018. arXiv:1811.09930.
6. Зордан Д., Росси М., Зорзи М. Классификация по критерию скорость-искажение для самонастраивающихся сетей Интернета вещей // arXiv. 2017. arXiv:1706.08877.
7. Равал А., Чаудхари Д., Панчал С., Джадхав С., Патил С. PLZW: конвейерный LZW на ПЛИС для сжатия данных на периферии без потерь // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2025. Т. 37. Ст. № 224. DOI: 10.1007/s44443-025-00243-8.
8. Шейх М. С., Ахмад И., Хан М. З., Хан М. Н., Джавед А. Стратегии маршрутизации на основе гибридного сжатия для повышения энергоэффективности в беспроводных сенсорных сетях // Journal of Cloud Computing. 2025. Т. 14. Ст. № 71. DOI: 10.1186/s13677-025-00787-0.

9. Романов О. Н., Аносов А. В., Погорелов А. А., Белов Ю. С., Сидоренко А. В. EdgeCodec: бортовой легковесный нейросетевой компрессор высокого качества с остаточным векторным квантованием // 2025 9-я Международная конференция по Интернету вещей, искусственному интеллекту и машинному обучению (IoTAI&ML). Манфредония, 2025. С. 1-6. DOI: 10.1109/11121988.2025.
10. IEEE P3122/D4, Июнь 2025. Утвержденный проект стандарта IEEE для структуры обработки данных и сжатия для Интернета вещей // IEEE. 2025. С. 1-15. DOI: 10.1109/IEEESTD.2025.11036646.
11. Формирование ИКТ-компетентности студентов специальности «Информатика» / А. В. Полуэктов // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2009. – № 3 (3). – С. 8–11. – EDN SAXGJX.
12. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex / A. Poluektov, T. Skvortsova, E. Anikeev, A. Yagodkin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.
13. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов / С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин, А. И. Заревич // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10–17.
14. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов / А. И. Заревич // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103–108.

References

1. Modeling of Systems and Processes: Scientific Journal / Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov. – Voronezh, 2008 –. – ISSN 2949-5001 (Online), 2311-9110 (Print). – URL: <https://journal.vgltu.ru/> (date of access: 02/17/2026).
2. Chiarot G., Silvestri K. A Review of Time Series Compression Methods // ACM Computing Surveys. 2023. Vol. 55. No. 10. pp. 1-36. DOI: 10.1145/3560814.
3. Idris S. K., Azar D., Couturier R., Idris A. K., Gächter F. SZ4IoT: An Adaptive Lightweight Lossy Compression Algorithm for Different IoT Devices and Data Types // The Journal of Supercomputing. 2025. Vol. 81. Article No. 392. DOI: 10.1007/s11227-024-06667-9.
4. Andrade M., Amaral M., Mediros M., Silva M., Silva I., Gafurini M., Brandão D., Ferrari P. Autoencoders for Embedded Sensor Data Compression: An Application

Case in Automotive IoT Systems // 2025 IEEE 30th International Conference on Emerging Technologies and Industrial Automation (ETFA). Porto, 2025. pp. 1-8. DOI: 10.1109/ETFA65518.2025.11205629.

5. Li B., Sarbishey O., Noorani H., Glatar T. Multidimensional extension of lightweight temporal compression method // arXiv. 2018. arXiv:1811.09930.

6. Zordan D., Rossi M., Zorzi M. Rate-distortion classification for self-adaptive IoT networks // arXiv. 2017. arXiv:1706.08877.

7. Rawal A., Chaudhary D., Panchal S., Jadhav S., Patil S. PLZW: Pipelined LZW on FPGA for lossless data compression at the edge // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2025. Vol. 37. Article No. 224. DOI: 10.1007/s44443-025-00243-8.

8. Sheikh M. S., Ahmad I., Khan M. Z., Khan M. N., Javed A. Hybrid Compression-Based Routing Strategies for Improving Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks // Journal of Cloud Computing. 2025. Vol. 14. Article No. 71. DOI: 10.1186/s13677-025-00787-0.

9. Romanov, O. N., Anosov, A. V., Pogorelov, A. A., Belov, Yu. S., and Sidorov, A. V. “EdgeCodec: An On-Board Lightweight High-Quality Neural Network Compressor with Residual Vector Quantization” in 2025 9th International Conference on Internet of Things, Artificial Intelligence, and Machine Learning (IoTAI&ML). Manfredonia, 2025. pp. 1–6. DOI: 10.1109/11121988.2025.

10. IEEE P3122/D4, June 2025. Approved Draft IEEE Standard for a Data Processing and Compression Framework for the Internet of Things. IEEE. 2025. pp. 1–15. DOI: 10.1109/IEEESTD.2025.11036646.

11. Formation of ICT competence of students of the specialty "Informatics" / A.V. Poluektov // Information and communication technologies in teacher education. – 2009. – № 3 (3). – Pp. 8-11. – EDN SAXGJX.

12. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex / A. Poluektov, T. Skvortsova, E. Anikeev, A. Yagodkin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.

13. Development of the bank's information subsystem for issuing loans / S. A. Sazonova, V. F. Asminin, A. I. Zarevich // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17.

14. Digital signal processing in automated tests of high-current shunts / A. I. Zarevich // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management. – 2013. – № 6 (186). – Pp. 103-108.

ТЕХНОЛОГИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМЫ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Т.П. Новикова¹, С.А. Евдокимова², Ю.О. Авилов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²Воронежский государственный университет инженерных технологий

Аннотация. В статье рассмотрена технология функционирования рекомендательных систем, включающая входной модуль, модуль обработки и модуль вывода. Модуль обработки содержит различные алгоритмы рекомендаций, классификации которых уделено особое внимание в работе.

Ключевые слова: алгоритм рекомендаций, система рекомендаций, оценка показателей рекомендательного алгоритма.

FUNCTIONING TECHNOLOGY AND ALGORITHMS OF RECOMMENDED SYSTEMS

T.P. Novikova¹, S.A. Evdokimova², Yu.O. Avilov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

² Voronezh State University of Engineering Technologies

Abstract. The article discusses the technology of functioning of recommendation systems, including an input module, a processing module, and an output module. The processing module contains various recommendation algorithms, the classification of which is given special attention in the work.

Keywords: recommendation algorithm, recommendation system, evaluation of recommendation algorithm indicators.

Введение

Как обычно работает система рекомендаций? Сначала она собирает историю действий пользователей, потом совмещает разные модели и на их основе

помогает людям выбирать товары или получать предложения. Как показано на рисунке 1, современная рекомендательная модель на данном этапе делится на три части: модуль ввода, модуль самого алгоритма рекомендаций и модуль вывода [1].

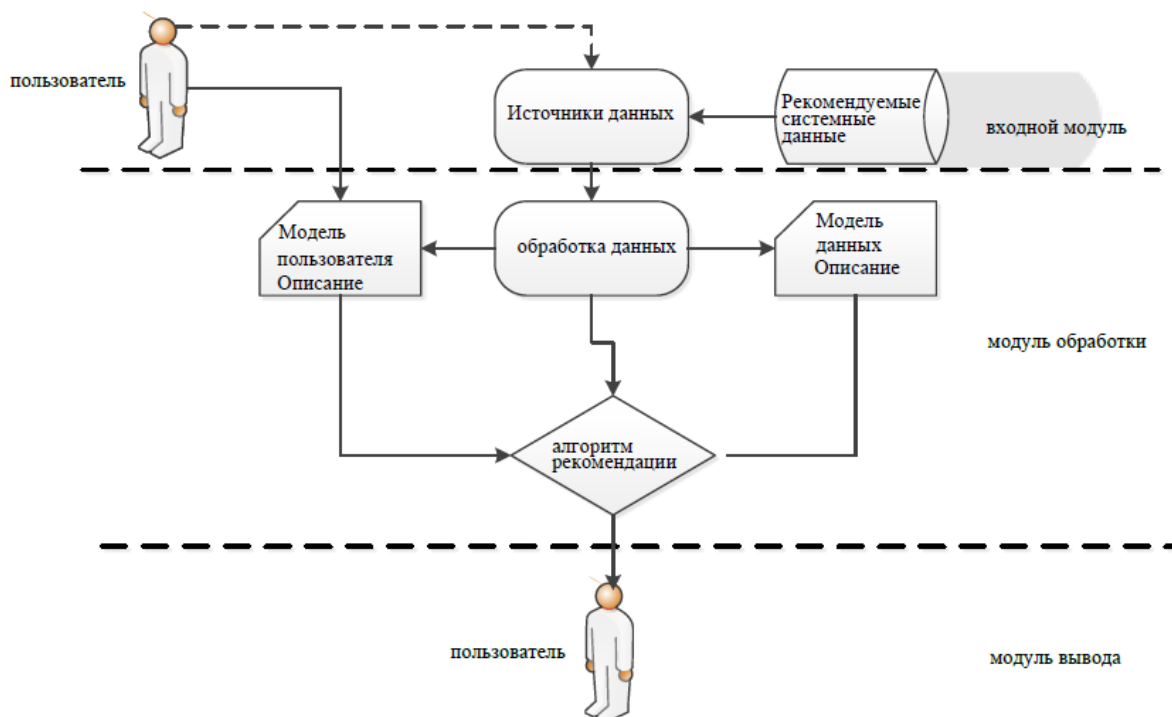


Рисунок 1 – Основные этапы рекомендательной системы

Технология работы рекомендательных систем

Модуль ввода – это самая базовая часть. Сюда входит сбор и обработка данных. А сам сбор включает атрибуты пользователя, атрибуты товара и то, как пользователь оценивал разные товары. Но собранные данные не всегда готовы к употреблению напрямую – их нужно обработать. И вот уже подготовленные данные идут на вход модулю алгоритма рекомендаций.

Модуль рекомендаций берёт эти данные, прогоняет через свой алгоритм и на выходе получает списки похожих пользователей и списки похожих товаров. На этом этапе можно ещё рассчитать неизвестные оценки, чтобы снизить проблемы, связанные с разреженностью данных. Качество алгоритма напрямую влияет на то, что попадёт в выходной модуль. Поэтому модуль рекомендаций – главный во всей системе.

Выходной модуль – это последняя часть, и она тоже очень важна. На этом этапе обычно получается матрица с предсказанными оценками или просто список рекомендаций из нескольких товаров. Главное здесь – как именно подать

пользователю результаты работы модуля рекомендаций, в каком виде. В реальных системах вроде Taobao и JD.com [1] качеству вывода уделяют особое внимание – потому что оно напрямую влияет и на деньги компании, и на то, как пользователь себя чувствует.

Метрики оценки рекомендательных алгоритмов

Способов оценить рекомендательный алгоритм много. Но главный показатель – это точность предсказания. Точность рекомендации – самая понятная метрика, поэтому многие исследователи используют именно её, чтобы сравнивать алгоритмы между собой. Как правило, выделяют два варианта: «прогнозирование оценки» и «рекомендация топ-N». Отсюда и процесс оценки строится так:

Прогноз рейтинга – используется, чтобы предсказать, какую оценку пользователь поставит товару. Обычно измеряют среднеквадратичную ошибку (RMSE) или среднюю абсолютную ошибку (MAE).

Рекомендация топ-N – пользователю дают список из N лучших товаров, которые ему скорее всего понравятся. Точность в этом случае меряют через полноту и точность (precision/recall).

Есть ещё другие метрики – охват, а также показатели того, насколько хорошо система находит «длинный хвост» (редкие товары). Хороший рекомендательный алгоритм должен давать каждому товару примерно одинаковые шансы быть рекомендованным.

На рисунке 2 показаны основные алгоритмы рекомендательных систем и как их классифицируют. У каждого алгоритма свои плюсы и минусы, каждый хорош в своей ситуации.

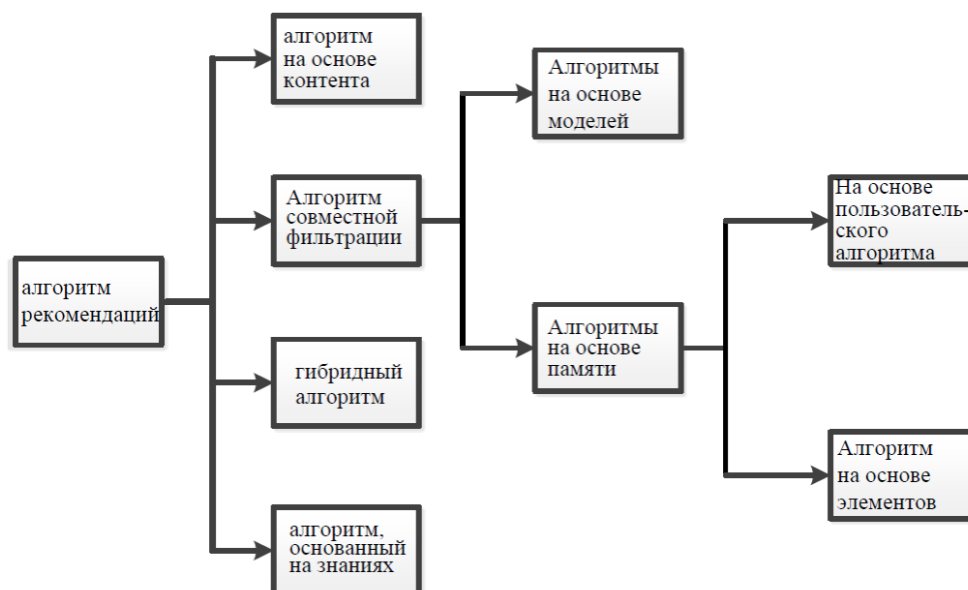


Рисунок 2 –Классификация алгоритмов для рекомендательных систем

Алгоритм на основе контента – он больше внимания уделяет свойствам самого товара. Но эти свойства не всегда легко получить. Зато результаты такого алгоритма интуитивно понятны и объяснимы. Правда, с неструктурированными данными он работает плохо.

Алгоритм совместной фильтрации легко справляется с разными, непривычными товарами и может рекомендовать вещи из разных категорий. Но у него есть проблемы с «холодным стартом» (когда нового пользователя не с чем сравнить) и с «разреженностью данных» (когда мало оценок).

Гибридный алгоритм – это когда берут сразу несколько подходов. Он старается взять лучшее от каждого и дать результат качественнее, чем любой из методов по отдельности.

Заключение

При построении рекомендательной модели нужно использовать не один алгоритм, а их комбинацию. Так можно сохранить сильные стороны каждого и сгладить слабые – под разные задачи подойдут разные методы. Ещё на этапе обработки данных можно применять кластеризацию, нейронные сети и другие модели, чтобы качество обработки было выше [2–4].

Список литературы

1. Шэнь, С. Применение алгоритма совместной фильтрации в музыкальных рекомендациях / С. Шэнь, Т. П. Новикова, А. И. Новиков // Новые аспекты моделирования систем и процессов: Материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГЛУ, 2023. – С. 507-512.
2. Шагеев, Д. А. Поиск решения проблемы выбора формы свёртки локальных векторов с целью повышения точности измерений в методе анализа иерархий // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 95-105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – EDN FUFKOH.
3. Евдокимова, С. А. Алгоритм анализа клиентской базы торговой организации / С. А. Евдокимова, Т. П. Новикова, А. И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 24-35. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-1-24-35. – EDN YJSTFW.
4. Kalman filter adaptation to disturbances of the observer's parameters / A. A. Manin, S. V. Sokolov, M. V. Polyakova [et al.] // Inventions. – 2021. – Vol. 6, No. 4. – DOI 10.3390/inventions6040080. – EDN WWFSOY.

References

1. Shen, S. Application of the collaborative filtering algorithm in music recommendations / S. Shen, T. P. Novikova, A. I. Novikov // New aspects of system and process modeling: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Voronezh: VGLTU, 2023. – P. 507-512.
2. Shageev, D. A. Search for a solution to the problem of choosing the form of convolution of local vectors in order to increase the accuracy of measurements in the analysis of hierarchies method // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 95-105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – EDN FUFKOX.
3. Evdokimova, S. A. Algorithm for Analyzing the Customer Base of a Trading Organization / S. A. Evdokimova, T. P. Novikova, and A. I. Novikov // Modeling of Systems and Processes. – 2022. – Vol. 15, No. 1. – Pp. 24-35. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-1-24-35. – EDN YJSTFW.
4. Kalman filter adaptation to disturbances of the observer's parameters / A. A. Manin, S. V. Sokolov, M. V. Polyakova [et al.] // Inventions. – 2021. – Vol. 6, No. 4. – DOI 10.3390/inventions6040080. – EDN WWFSOY.

МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ

Т.П. Новикова¹, А.В. Теппоев², А.И. Новиков³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова (СПбГЛТУ)

³ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»
(ФГБНУ АФИ)

Аннотация. В статье рассмотрена технология распознавания образов в контексте развития искусственного интеллекта. Описаны основные элементы моделей распознавания образов, применение нейронных сетей в области распознавания образов, показана роль компьютерного зрения в различных областях.

Ключевые слова: распознавание образов, искусственный интеллект, нейронные сети.

PATTERN RECOGNITION MODELS AS A THEORETICAL BASIS FOR TECHNICAL VISION SYSTEMS IN AUTOMATED CONTROL

T.P. Novikova¹, A.V. Teplov², and A.I. Novikov³

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

² St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

³Agrophysical Research Institute

Abstract. The article discusses the technology of pattern recognition in the context of the development of artificial intelligence. It describes the main elements of pattern recognition models, the application of neural networks in the field of pattern recognition, and the role of computer vision in various fields.

Keywords: pattern recognition, artificial intelligence, and neural networks.

Введение

Понятие «искусственный интеллект» до сих пор не имеет авторитетного и единого определения. Но по сути дела, всегда речь идет о том, что машины способны достичь уровня интеллекта человека, то есть могут воспринимать внешние объекты, а затем, через самостоятельный процесс «мышления», давать целенаправленные и осмысленные ответы. Таким образом, можно сказать, что искусственный интеллект включает в себя три аспекта: восприятие, принятие решений и действие. Конечно, все эти аспекты применяются автономно машиной, без прямого управления со стороны человека [1]. А технология распознавания образов, является важным техническим средством для реализации способности искусственного интеллекта к восприятию. Как и развитие других технологий, развитие распознавания образов не произошло внезапно, оно имеет свой путь развития от начальных стадий до более сложных, от практических исследований до теоретических прорывов, пройдя в течение почти столетия истории (рисунок 1).

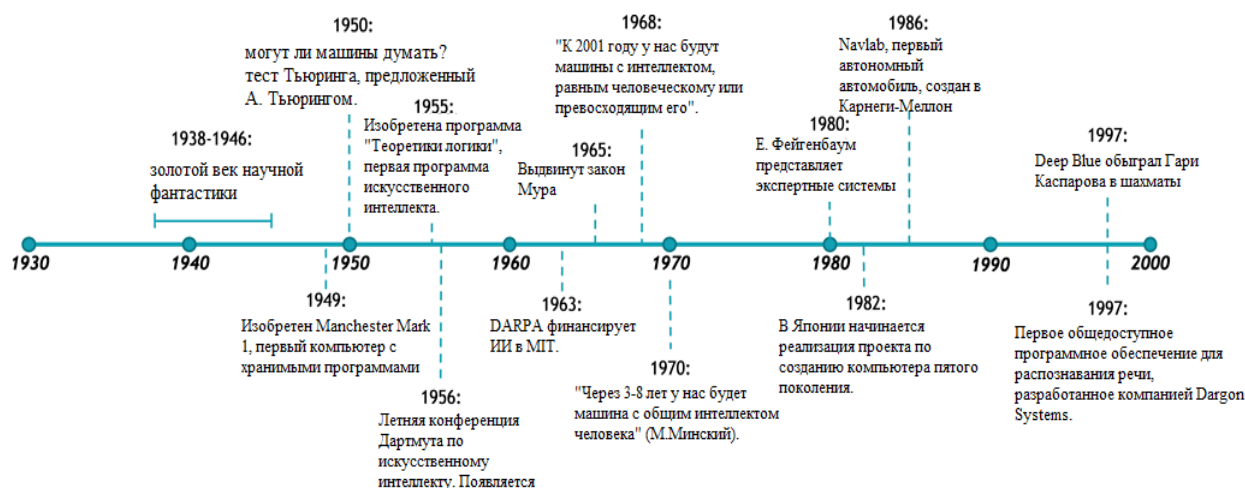


Рисунок 1 – История развития искусственного интеллекта

Распознавание образов как теоретическая основа

Что такое распознавание образов? По сути, это когда мы относим объекты к каким-то категориям. Сам процесс познания – это установление связи между тем, как мы называем категорию, и её характерными признаками. А распознавание – это уже конкретное действие: взять объект, посмотреть на его свойства и понять, к какой известной категории он относится. Зачем всё это нужно? Чтобы научить компьютер самому находить в данных закономерности и шаблоны, а потом автоматически классифицировать, распознавать, прогнозировать. Исследования в этой области полезны не только на практике – они влияют и на развитие

статистики, компьютерных наук, искусственного интеллекта, систем технического зрения в автоматизации и так далее [2].

Если говорить конкретнее, чем важны модели и алгоритмы распознавания образов, то можно выделить несколько пунктов.

Моделирование данных. Алгоритмы позволяют абстрагироваться от сырых данных, представить их в виде моделей. Благодаря этому мы лучше понимаем, какие закономерности и структуры скрыты внутри данных. А значит, можем эффективнее использовать их в приложениях, которые от данных зависят [4].

Извлечение признаков. Модели распознавания умеют вытаскивать из исходного материала самые характерные и полезные признаки – те, которые лучше всего отличают один объект от другого. Это помогает решить проблемы высокой размерности, когда данных слишком много, и зашумлённости, когда много мусора. В итоге точность классификации растёт, а модель становится устойчивее.

Обучение модели. Алгоритмы могут сами, без ручной настройки, строить модель, изучая статистические закономерности в данных. Потом на основе этой модели они решают задачи – классифицируют, прогнозируют. Такой подход позволяет автоматически анализировать большие массивы данных, быстрее и точнее их обрабатывать.

Широкое применение. Где только не используют распознавание образов: распознавание лиц, речь, классификация картинок, умные рекомендации, обнаружение объектов в технических системах [2,3] – везде оно помогает решать реальные задачи. А это, в свою очередь, поднимает производительность труда, улучшает качество жизни и даёт толчок социальному и экономическому развитию.

В области распознавания образов было разработано множество методов, а текущим наиболее популярным подходом является глубокое обучение, то есть методы, основанные на глубоких нейронных сетях, стали доминирующими во всей области искусственного интеллекта.

К числу представленных репрезентативных моделей нейронных сетей относятся RBM, Auto - кодеры, различные сверточные нейронные сети (LeNet, AlexNet, GoogleNet, VGGNet, ResNet, DenseNet), полностью сверточные сети, рекурсивные нейронные сети, капсульные сети (CapsNet), генеративные антагонистические сети, сети Turin - Jing, Transformers и т.д.

Приложения в компьютерном зрении включают не только классификацию изображений (классификацию объектов), но и обнаружение объектов и разделение объектов. Обнаружение объектов в прошлом считалось сложной задачей с высокой вычислительной сложностью (требующей классификации большого количества скользящих окон различного размера) и сложностью разграничения перспектив и фона. Использование глубоких нейронных сетей для обнаружения объектов значительно повышает производительность обнаружения, и вычислительная скорость больше не является проблемой из-за использования параллельных компьютеров с GPU. Репрезентативные методы, используемые для обнаружения объектов, включают двухэтапный метод R - CNN, Fast R - CNN, Fast R - CNN, одноэтапный метод YOLO, SSD и т.д. Маск R - CNN может одновременно выполнять обнаружение и разделение [1].

Разделение объектов фактически рассматривает разделение изображений как проблему классификации пикселей, и в настоящее время почти все объекты используют полностью сверточные сети. Сеть извлекает характеристики из каждого пикселя в изображении и классифицирует их как перспективы / фоны или различные области объектов. Типы разделения изображений включают семантическое разделение (область перспективы, которая различает различные типы объектов), разделение примеров (отличает различные экземпляры объектов), панорамное разделение (различает примеры объектов и различные фоновые области) и т.д.

Заключение

В настоящее время модели нейронных сетей, основанные на данных, используются для классификации, обнаружения, разделения и описания изображений. Предоставляя большое количество данных обучения, можно достичь хороших идентификационных характеристик. В то же время, модели, основанные на данных, также имеют много недостатков и не могут решить все проблемы. Во - первых, когда данных обучения недостаточно (стоимость сбора учебных образцов высока) [11], теряется производительность, и результаты, даже хуже, чем у традиционного метода распознавания образов (искусственное извлечение признаков + классификация). Во - вторых, модели нейронных сетей менее объяснимы и прочны – нет объяснения, как были получены результаты идентификации и структура модели. Необъяснимые результаты появляются на «шумных» изображениях или внезапные изменения в результатах идентификации возникают из-за шумовых помех.

Список литературы

1. Чжу, И. Исследование остаточной нейронной сети Resnet / И. Чжу, Т. П. Новикова, С. А. Евдокимова // Моделирование информационных систем и технологий : Материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 27 октября 2022 года / Отв. редакторы В.К. Зольников, С.А. Евдокимова. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 343-349.
2. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А. В. Скрыпников, И. А. Высоцкая, С. А. Евдокимова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128. – EDN MMIAIH.
3. Высоцкая, И. А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.
4. Новикова, Т. П. Управление данными : лабораторный практикум / Т. П. Новикова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – 106 с. – ISBN 978-5-7994-0982-1. – EDN MYYCWS.

References

1. Zhu, I. Research of the Residual Neural Network Resnet / I. Zhu, T. P. Novikova, S. A. Evdokimova // Modeling of Information Systems and Technologies : Materials of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 27, 2022 / Ed. by V.K. Zolnikov, S.A. Evdokimova. – Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 2022. – Pp. 343-349.
2. Choosing the optimality criterion for making managerial decisions in complex technical systems / A.V. Skrypnikov, I. A. Vysotskaya, S. A. Evdokimova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128. – EDN MMIAIH.
3. Vysotskaya, I. A. Justification of Information and Intellectual Support for the Principles of Operation of Technical Systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26. – EDN DCEATL.

4. Novikova, T. P. Data Management: Laboratory Workshop / T. P. Novikova.
– Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2022. –
106 p. – ISBN 978-5-7994-0982-1. – EDN MYYCWS.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОСРОЧЕК В DWH БАНКА ПО МЕТОДИКЕ FIFO

О.В. Оксюта¹, В.И. Лысенко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается применение метода FIFO для расчета показателей по просроченной задолженности кредитных договоров в банковском корпоративном хранилище данных (DWH). Алгоритм рассчитывает платежи на погашение самых ранних неоплаченных сумм, что необходимо для точного определения длительности просрочки и оценки рисков в аналитических системах.

Были рассмотрены проблемы и особенности учета просрочек по методу FIFO, предложен трехуровневый подход для реализации в DWH.

Ключевые слова: корпоративное хранилище данных (DWH), банк, учет просрочек, оценка рисков, базы данных, FIFO

DESIGNING THE CALCULATION OF DELINQUENCY RATES IN THE BANK'S DWH USING THE FIFO METHOD

O.V. Oksiuta¹, V.I. Lysenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the application of the FIFO method for calculating overdue debt on loans in a bank's data warehouse (DWH). The algorithm directs payments to cover the earliest outstanding amounts, which is necessary for accurately determining the duration of delinquency and assessing risks in analytical systems.

Problems and peculiarities of delinquency accounting using the FIFO method were examined, and a three-level approach for implementation in the DWH was proposed.

Keywords: corporate data warehouse (DWH), bank, delinquency accounting, risk assessment, databases, FIFO.

Введение

Методика FIFO (First In, First Out) при расчете показателей просрочки по кредитным договорам в корпоративном хранилище данных (DWH) банка представляет собой алгоритм расчета списания задолженности, при котором каждая новая операция погашения направляется на уменьшение самой ранней непогашенной операции выноса на просрочку [5]. Все операции выноса на просрочку (дебетовые обороты) выстраиваются в хронологическую очередь, а поступающие платежи (кредитовые обороты) последовательно списываются в погашение наиболее старых долгов из этой очереди до полного исчерпания суммы платежа [4]. Такой подход позволяет точно определить показатели просрочки, что критически важно для расчета непрерывной длительности просрочки, оценки качества кредитного портфеля, рисков и построения финансовой отчетности в целом. В результате каждая состояние договора отражает реальную кредитную историю с учетом очередности погашения долгов.

Проблемы

В реальной практике проектирования расчета просроченной задолженности по методике FIFO в банковском хранилище данных возникает существенное препятствие, делающее невозможным использование упрощенного балансового подхода.

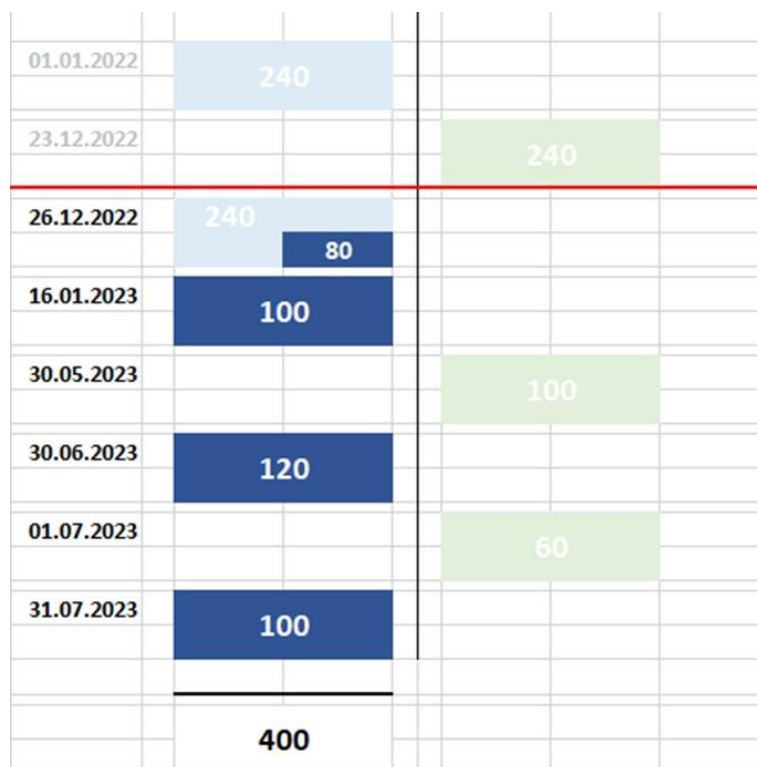


Рисунок 1 – Схема идеального FIFO

Наивный алгоритм, предполагающий простое суммирование всех операций выноса на просрочку и вычитание совокупной суммы погашений с последующим определением даты начала просрочки как момента первой не полностью погашенной операции, оказывается несостоятельным из-за риска возникновения некорректных операций.

Операции выноса на просрочку и погашения как правило являются «прямыми», но, если операция по, например, выносу на просрочку была ошибочной, ее необходимо исключить из расчета. Но нельзя искусственно создать настоящую операцию платежа, которая бы «компенсировала» некорректный выход на просрочку, т.к. любая операция платежа должна быть отражена в отчетности, в т.ч. предоставляемой для ЦБ [4, 5]. Решение этой проблемы заключается в том, что для каждого типа операций необходимо создать аналогичный технический тип операции с пометкой «Сторно». Такая сторно-операция будет дублировать отменяемую операцию (Тип задолженности, сумма и прочие параметры операции тоже будут унаследованы), но с пометкой «Сторно». В связи с этим необходимо создать отдельную таблицу фактов, которая содержит операции сторно с ссылкой на операцию, которую они отменяют (сторнируют). Например, если операция выноса на просрочку (OVD) была некорректной, то для исключения ее из расчета FIFO необходимо проверить, существует ли сторно-операция, ссылающаяся на некорректную операцию, которую нужно исключить.

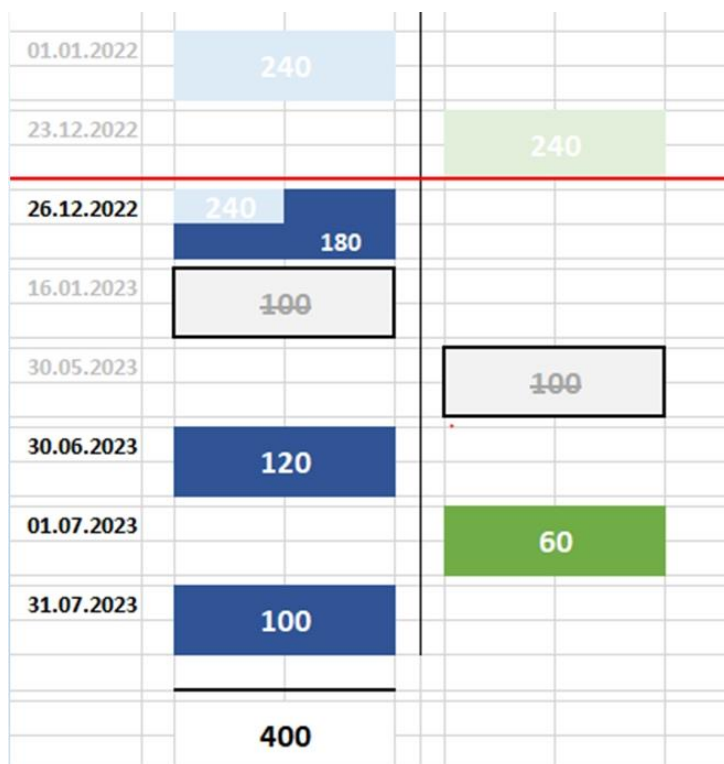


Рисунок 2 – Схема FIFO с учетом операций сторно

Поскольку исправительные операции могут приходить намного позже появления некорректных операций и затрагивать как начисления, так и погашения, то единственным способом обеспечить корректность расчета является полный пересчет FIFO-очереди для каждого кредитного договора на всю историческую глубину. Это значит, что при каждом плановом обновлении витрин алгоритм повторно обрабатывает полную цепочку всех выносов и погашений по договору и пересчитывает актуальные даты и прочие показатели просрочки с момента открытия договора. Только такой подход гарантирует устойчивость результатов к корректировкам учетной информации и обеспечивает достоверность расчета просрочки.

Особенности проектирования

В современных банковских хранилищах данных реализация расчета просроченной задолженности по методу FIFO требует построения архитектуры, обеспечивающей методологическую целостность и качество данных для всех пользователей отчетностью. Подход заключается в создании единого агрегата просрочки, который служит единственным источником для витрин бюро кредитных историй, подразделений по управлению рисками, служб работы с проблемными активами и т.д., поскольку требования к расчету просрочки унифицированы регулятором и не различаются [4].

Архитектурное решение базируется на трехуровневой модели, включающей слой детальных данных, предвитринных преобразований и аналитический (витринный) слой [6, 7]. На нижнем уровне центральное место занимает таблица фактов операций, фиксирующая все движения по кредитным договорам: начисления, погашения, технические проводки и сторнировочные записи [1].

Также необходимо учитывать, что у каждого типа операции есть набор параметров, которые характеризуют отдельные параметры движения средств для такого типа операций [4, 5]. Такими параметрами могут быть:

1. Направление движения средств: PAY – платеж в пользу погашения просрочки и OVD – увеличение просрочки.
2. Код направления операции (прямая/сторно)
3. Типы задолженности, например: проценты (PRN), комиссии (COM), проценты (INT) [5]

Поэтому вокруг таблицы фактов организованы справочники, среди которых особую роль играет маппер-справочник атрибутов операций [3]. Этот объект содержит параметры, определяющие для каждого типа операции её направление,

класс и вид задолженности (описаны выше), что позволяет гибко настраивать логику участия различных операций в FIFO-расчете без изменения программного кода ETL-процессов.

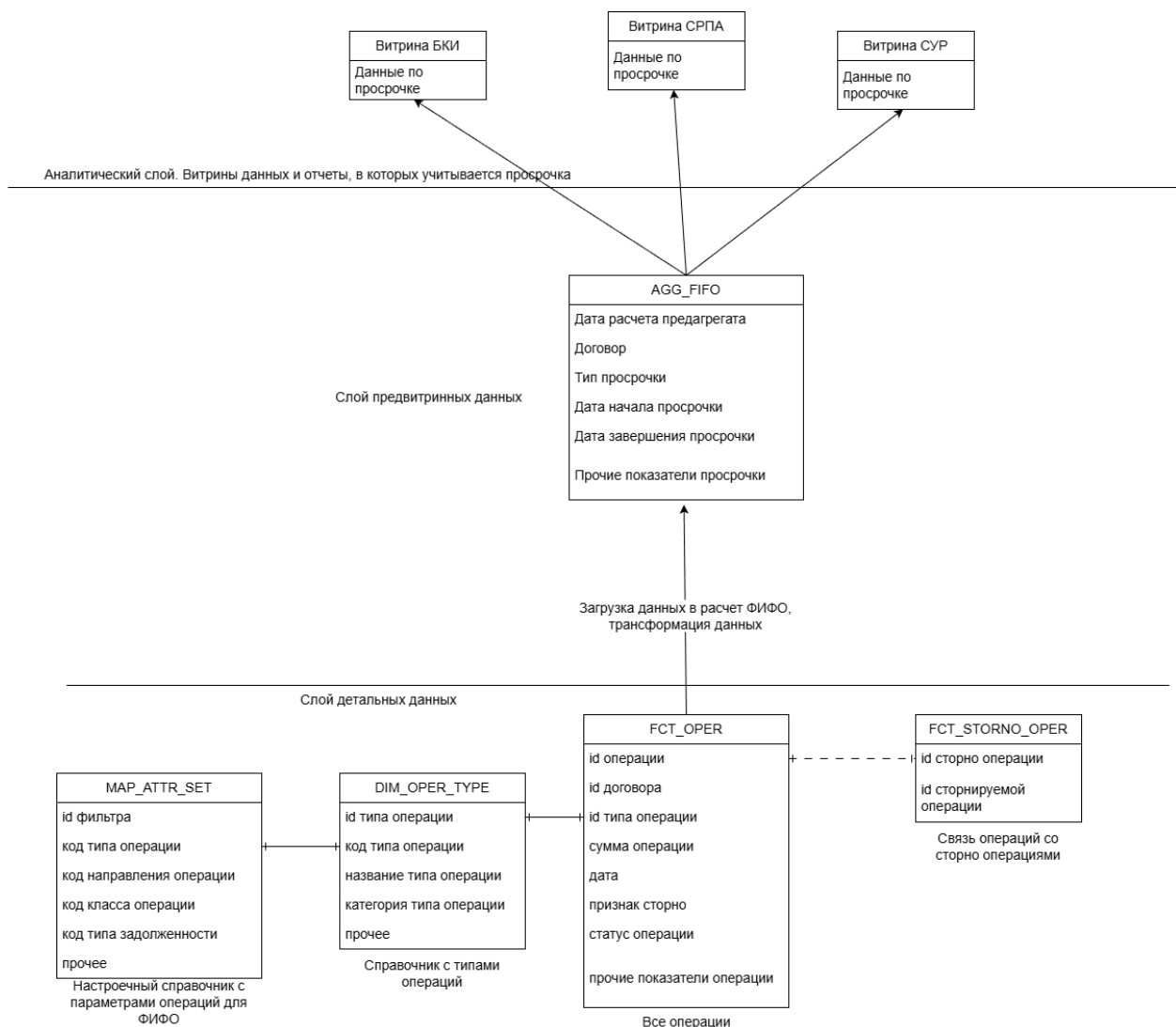


Рисунок 3 – Модель данных

На предвитринном уровне происходит трансформация детальных данных в соответствии с правилами FIFO, причем в силу наличия сторнировочных записей единственным надежным подходом является полный пересчет очереди требований для каждого договора на всю историческую глубину. Алгоритм последовательно выстраивает операции начисления в хронологическом порядке и сортирует их поступающими погашениями по принципу «первым пришел – первым ушел», корректно обрабатывая исправительные записи путем исключения взаимопогашающихся пар или соответствующей корректировки очереди. Результатом этой обработки становится агрегат FIFO, содержащий для каждого договора

и типа задолженности ключевые события: дату начала просрочки, дату завершения просрочки, сумму требований на момент возникновения и прочие показатели. Технические атрибуты, такие как дата расчета преагрегата, позволяют хранить исторические срезы состояний и отслеживать динамику изменения просрочки во времени.

Верхний аналитический слой представлен набором витрин данных, каждая из которых ориентирована на специфические бизнес-задачи [1, 2].

Такое построение гарантирует, что любое изменение в учетных данных, включая ретроспективные исправления, после однократного пересчета агрегата автоматически транслируется во все потребляющие системы, исключая разночтения и дублирование логики расчета в разных частях хранилища.

Заключение

Реализация расчета просрочки по методу FIFO в банковском хранилище данных представляет собой задачу, требующую полного пересчета операций из-за наличия сторнировочных записей, делающих невозможным применение упрощенных балансовых методов. Предложенная трехуровневая архитектура с централизованным агрегатом FIFO и гибким маппер-справочником операций обеспечивает методологическое единство расчета для всех потребителей данных. Такой подход гарантирует соответствие регуляторным требованиям, достоверность оценки кредитных рисков и исключает разночтения в отчетности различных подразделений банка.

Список литературы

1. DAMA International. DAMA-DMBOK : Свод знаний по управлению данными. Второе издание / пер. с англ. Г. Агафонова. – Москва : Олимп–Бизнес, 2020. – 828 с. – ISBN 978-5-9693-0404-8.
2. Linstedt D., Olschimke M. Building a Scalable Data Warehouse with Data Vault 2.0. – Morgan Kaufmann, 2015. – 654 p. – ISBN 978-0-12-802510-9.
3. Inmon W. H. Building the Data Warehouse. – 4th ed. – Indianapolis : Wiley Publishing, 2005. – 576 p. – ISBN 978-0-7645-9944-6.
4. Смольникова Ю. Самоучитель по бухгалтерскому учету. – Москва : Проспект, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-392-33645-6.
5. Банковское дело : учеб. пособие для вузов / С. Е. Дубова, Н. В. Степанова, А. С. Кутузова, О. В. Горюкова. – Киров : МЦНИП, 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-906223-13-5.

6. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

7. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120.

References

1. DAMA International. DAMA-DMBOK: Data Management Body of Knowledge. 2nd ed. / Translated from English by G. Agafonov. – Moscow : Olimp-Business, 2020. – 828 p. – ISBN 978-5-9693-0404-8.

2. Linstedt D., Olschimke M. Building a Scalable Data Warehouse with Data Vault 2.0. – Morgan Kaufmann, 2015. – 654 p. – ISBN 978-0-12-802510-9.

3. Inmon W. H. Building the Data Warehouse. – 4th ed. – Indianapolis : Wiley Publishing, 2005. – 576 p. – ISBN 978-0-7645-9944-6.

4. Smolnikova Yu. Self-Tutorial on Accounting. – Moscow : Prospekt, 2021. – 336 p. – ISBN 978-5-392-33645-6.

5. Banking: studies. handbook for universities / S. N. E. Dubova, N. V. N. Stepanova, A. N. S. Kutuzova, O. N. V. N. Goryukova. Kirov : mtsnip, 2013. -1 electronic. wholesale. disc (cd-ROM). - Caption from the disc label. – ISBN 978-5-906223-13-5.

6. Nikolenko, S. D. Modeling the Occurrence of Internal Stresses in the Complex Structure of a Material / S. D. Nikolenko, S. P. Kozodaev, S. A. Sazonova // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

7. Sazonova, S. A. Modeling the Leak Diagnostics Process Based on a Two-Alternative Hypothesis Considering Interference from Consumption Stochasticity in a Hydraulic System / S. A. Sazonova, I. V. Shcherbakova, G. I. Smetankina // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 111-120.

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АВТОГРЕЙДЕРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ КАБИНЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

О.В. Оксюта¹, И.В. Чепелев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Автогрейдеры относятся к категории дорожно-строительной техники, используемой для выравнивания поверхностей грунта и укладки дорожного полотна. Одной из существенных проблем эксплуатации этих машин является высокий уровень вибрации и шума, воздействующий на операторов и пассажиров. Работа в условиях повышенной вибрации и шумовой нагрузки могут негативно сказаться на физическом и психическом состоянии здоровья оператора и может привести к возникновению хронических заболеваний.

Ключевые слова: автогрейдеры, вибрация, шум, шумозащита, виброзащита, источники виброакустической энергии.

ANALYSIS OF THE SOURCES OF VIBRO-ACOUSTIC ENERGY OF MOTOR GRADERS AND DETERMINATION OF A WAY TO REDUCE CABIN VIBRATION IN VARIOUS OPERATING MODES

O.V. Oxyuta¹, I.V. Chepelev¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Graders belong to the category of road construction equipment used for leveling ground surfaces and laying the roadway. One of the significant problems with the operation of these machines is the high level of vibration and noise affecting operators and passengers. Working in conditions of increased vibration and noise load can negatively affect the physical and mental health of the operator and can lead to chronic diseases.

Keywords: motor graders, vibration, noise, noise protection, vibration protection, sources of vibro-acoustic energy.

Введение

Рабочие органы автогрейдера предназначены для отделения грунта от массива и его перемещения. Режущей частью рабочего органа является нож, который срезает слой грунта, отделяя его от массива. Специфика работы виброкатков при уплотнении различных сред выделяет их в особую группу машин с точки зрения возникновения и распространения вибрации.

Источники виброакустической энергии автогрейдера

Вибрация и шум проникают в кабину автогрейдера двумя путями: по воздушной среде и при передаче вибрации по конструкции. Основными источниками вибрационного излучения, определяющими вибрацию кабины автогрейдера, являются двигатель внутреннего сгорания, гидронасосы, гидромоторы и редуктор привода насосов.

Внешними источниками вибрации и шума являются дорога и покрытие, по которым движется автогрейдер. Качество дорожного покрытия напрямую влияет на амплитуду вибраций и интенсивность акустических сигналов. Колеи, трещины, ямки и другие дефекты дороги провоцируют возникновение ударных нагрузок, резко увеличивая вибрационную составляющую.

Другим внешним фактором является ветер и аэродинамическое сопротивление. Хотя его влияние на виброакустическую обстановку незначительно, сочетание ветра с внутренними источниками усиливает общий дискомфорт оператора.

Анализ режимов работы автогрейдера и сопутствующей вибрации

Автогрейдеры нужны для того, чтобы срезать грунт слоями и перемещать его отвалом на какое-то расстояние. Конечная цель – придать поверхности земли нужные продольные и поперечные уклоны. У автогрейдера два основных режима работы: тяговый и транспортный. Они сильно отличаются – нагрузки на трансмиссию и двигатель в этих режимах тоже резко разные.

Основные технические данные автогрейдера ДЗ-122А сведены в таблицу 1.

Режимы работы автогрейдера отличаются в зависимости от того, что именно делают машиной и в каких условиях. Режим передвижения – вибрация небольшая, шум умеренный. А вот когда работает лезвие или отвал, вибрация сильно возрастает, и акустическое воздействие становится серьёзным.

Особенно тяжёлый режим – очистка поверхности. Автогрейдер еле ползёт на низкой передаче, постоянно останавливается, двигатель запускается и глохнет. При этом возникают сильные импульсы вибрации. Они потихоньку убивают технику и очень плохо влияют на здоровье оператора.

Таблица 1 – Основные технические данные автогрейдера ДЗ-122А

Параметры	Числовые и технические характеристики
Масса конструктивная, кг	7100
Масса эксплуатационная, кг	7500
Угол поворота шарнирно-сочленённой рамы, рад	0.5
Модель двигателя	Д-243
Мощность, кВт	57,4+3,7
Частота вращения вала двигателя, мин ⁻¹	2200
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч) (г/(л.с.·ч))	246 (176)
Масса сухого двигателя, кг	430
Понижающий редуктор	Две пары цилиндрических шестерён
Коробка передач	Механическая, 9-ступенчатая с понижающим редуктором
Передний ведущий мост	Гидравлический
Тип ходовой системы	Пневмоколёсная
Колёсная формула	1×2×2
Размер шин	1200×500-508
Рулевое управление	Гидравлическое
Рабочее оборудование	Грейдерный отвал, бульдозерный отвал

Работа автогрейдера на ровной дороге. При движении по гладкой поверхности автомобиль испытывает незначительные вибрации и низкие акустические нагрузки. Уровень шума поддерживается в рамках нормы, однако короткие остановки и торможения создают небольшие импульсные перегрузки.

Работа автогрейдера на плохом покрытии. При перемещении по некачественному покрытию автогрейдер подвергается сильным ударам и вибрациям, вызванным столкновением колес с препятствиями и дефектами асфальтового покрытия. Такой режим работы приводит к значительным нагрузкам на конструкцию машины и оператора.

Рабочее состояние автогрейдера. В рабочем состоянии автогрейдера частота вращения двигателя достигает пика, активизируется система подачи топлива и гидравлика. Вибрации распространяются по всей машине, доставляя значительный дискомфорт водителю и пассажирам.

Вибрация кабины в общем случае зависит от возмущений, создаваемых работой двигателя внутреннего сгорания, трансмиссии и в меньшей степени колесами, рабочим органом, гидравлической системой, приводом переднего моста и других активных виброакустических источников (таблица 2).

Таблица 2 - Основные частоты возмущающих сил ДВС, агрегатов и узлов автогрейдера ДЗ-122А

Факторы	Частота, Гц
Процесс сгорания, впуска и выпуска	73
Неуравновешенные силы инерции движущихся масс в ДВС	37
Посадка клапанов и удары при выборе тепловых зазоров	145
Преобразование зубьев шестерён ДВС	880
Работа вентиляторов, нагнетателей, турбин ДВС	114
Деформация зубьев шестерен КП от пересопряжения	915
Действие накоплений при изготовлении шестерни ошибки	37,74,11,148..
Дисбаланс колеса в сборе	2...6
Микропрофиль поверхности движения на транспорт.	1,5...4
Случайные колебания усилий на рабочем органе	0...8

Способы снижения вибрации и шума в кабине автогрейдера

Существует несколько действенных способов снижения уровня вибрации и шума в кабине автогрейдера:

1. Оптимизация настройки рабочего органа. Регулярная проверка и регулировка рабочих органов (лезвий, ковшей, отбрасывателей) уменьшают вероятность возникновения дисбаланса и снижают уровень вибрации. Выполнение центровки оборудования снижает нагрузку на технические узлы и уменьшает виброакустику отдельных элементов.

2. Улучшение амортизации. Использование более совершенного подхода к амортизации подвески и своевременная ее диагностика также влияет на уровень вибрации.

3. Использование современных вибро- и шумоизолирующих материалов. Применение материалов, способных уменьшить вибрацию элементов при их соприкосновении или трении, а также поглощающих шумы, позволяют значительно улучшить условия труда оператора.

Заключение

Рассмотренные меры уменьшения вибрации включают регулярную диагностику технического состояния машины, установку современных амортизаторов и специализированных звукоизоляционных материалов, а также модернизацию систем управления оборудованием.

Дальнейшее направление исследований должно ориентироваться на совершенствование конструкции автогрейдеров, применении новых материалов и технологий, а также автоматизацию производственных процессов.

Список литературы

1. Лебедев, Г. С. Справочник по технологическому оборудованию для ремонта и технического обслуживания автомобилей и тракторов / Г. С. Лебедев. – Воронеж : ВГАСУ, 2002. – 487 с.
2. ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения : издание официальное : дата введения 1984-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1984. – 27 с.
3. Устинов Ю.Ф. Методические колебания и виброакустическая защита транспортно-технологических строительных машин: учеб. пособие/ Ю.Ф. Устинов; Воронежский ГАСУ. Воронеж, 2015. -239с.
4. Лебединский И.Ю., Сиротин П.В., Черненко А.Б., Сысоев М.И. Принципы создания систем поддрессоривания кабин транспортно-технологических самоходных машин // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 2. С. 105-109.
5. Скворцов, А. И. Демпфирующие сплавы железа для снижения вредных вибраций и шумов в машинах и механизмах / А. И. Скворцов, М. А. Мельчаков // Главный механик. – 2020. – № 4. – С. 26-29. – EDN DACPCZ.
6. Давиденко, Д. М. Анализ и решение проблем снижения шума и вибрации автомобилей / Д. М. Давиденко // ЛУЧШАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ 2016 : сборник статей победителей IV международного научно-практического конкурса, Пенза, 30 ноября 2016 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2016. – С. 63-65. – EDN XBUOKB.
7. Егоров, Н. М. Снижение вибрации и шума механических транспортных средств / Н. М. Егоров, Ф. Х. Халиуллин // Сельский механизатор. – 2017. – № 6. – С. 46-47. – EDN YQRJXP.
8. Ивницкий, В. О. Технологии снижения шума и вибраций в автомобильных двигателях / В. О. Ивницкий // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник

докладов конференции, Белгород, 29–30 мая 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 110-113. – EDN CREQHF.

References

1. Lebedev, G. S. Handbook of technological equipment for repair and maintenance of cars and tractors/ G. S. Lebedev. Voronezh : VGASU, 2002, 487 p.
2. GOST 25866-83. Operation of equipment. Terms and definitions: interstate standard. – Introduction. 1984-01-01. – Moscow : Gosstandart of the USSR. – 1984. – 27 p.
3. Ustinov Yu.F. Methodical vibrations and vibroacoustic protection of transport and technological construction machines: textbook. manual/ Yu.F. Ustinov; Voronezh GASU. Voronezh, 2015. -239s.
4. Lebedinsky I.Yu., Sirotin P.V., Chernenko A.B., Sysoev M.I. Principles of creating cabin springing systems for transport and technological self-propelled vehicles // Modern science-intensive technologies. 2019. No. 2. pp. 105-109.
5. Skvortsov, A. I. Damping iron alloys to reduce harmful vibrations and noises in machines and mechanisms / A. I. Skvortsov, M. A. Melchakov // Chief Mechanic. – 2020. – No. 4. – pp. 26-29. – EDN DACPCZ.
6. Davidenko, D. M. Analysis and solution of problems of noise reduction and vibration of cars / D. M. Davidenko // THE BEST SCIENTIFIC ARTICLE of 2016 : collection of articles by the winners of the IV international scientific and practical conference, Penza, November 30, 2016. Penza: "Science and Enlightenment" (IP Gulyaev G.Yu.), 2016. pp. 63-65. – EDN XBUOKB.
7. Egorov, N. M. Reduction of vibration and noise of mechanical vehicles / N. M. Egorov, F. H. Khaliullin // Rural mechanic. – 2017. – No. 6. – pp. 46-47. – EDN YQRJXP.
8. Ivnitkiy, V. O. Technologies for reducing noise and vibrations in automobile engines / V. O. Ivnitkiy // Collection of reports of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of the V.G. Shukhov BSTU : Collection of conference reports, Belgorod, May 29-30, 2025. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2025. pp. 110-113. - EDN CREQHF.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ И ШУМА В КАБИНАХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

О.В. Оксюта¹, И.В. Чепелев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Транспортно-технологические машины (ТТМ) постоянно совершенствуются благодаря стремлению инженеров снизить негативное воздействие вибрационных нагрузок и акустического дискомфорта на операторов. Постоянное взаимодействие оператора с техникой неизбежно сопровождается воздействием механических и звуковых колебаний, создающих серьёзные риски здоровью работников и снижающими производительность труда. Именно поэтому решение проблем шумо- и виброзащиты является приоритетной задачей производителей спецтехники.

Однако снижение вибрации и шума – это сложный технологический процесс, затрагивающий целый ряд инженерных дисциплин, включая машиностроение, материаловедение, эргономику и акустику. В статье рассматриваются эффективные методы борьбы с вибрацией и шумом, применяемые в современных машинах, а также предлагаются пути дальнейшего совершенствования конструктивных решений.

Ключевые слова: транспортно-технологические машины, вибрация, шум, шумозащита, виброзащита.

RESEARCH OF METHODS FOR REDUCING VIBRATION AND NOISE IN CABINS OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

O.V. Oxyuta¹, I.V. Chepelev¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Transport and technological machines (TTMS) are constantly being improved due to the desire of engineers to reduce the negative impact of vibration loads and acoustic discomfort on operators. The constant interaction of the operator with the equipment is inevitably accompanied by the effects of mechanical and sound vibrations, which pose serious risks to the health of workers and

reduce labor productivity. That is why solving the problems of noise and vibration protection is a priority for manufacturers of special equipment.

However, reducing vibration and noise is a complex technological process that involves a number of engineering disciplines, including mechanical engineering, materials science, ergonomics, and acoustics. The article discusses effective methods of combating vibration and noise used in modern machines, as well as suggests ways to further improve design solutions.

Keywords: transport and technological machines, vibration, noise, noise protection, vibration protection.

Введение

Основными источниками вибрации и шума в транспортно-технологической технике являются двигатель внутреннего сгорания, трансмиссия, ходовая система и рабочие органы. Наряду с технической составляющей важны и внешние факторы, такие как дорожные покрытия, нагрузка на машину и погодные условия.

Среди наиболее значимых источников вибрации выделяют:

- двигатель: высокочастотные механические колебания, вызванные работой поршней и коленчатого вала;
- ходовая часть: низкочастотные удары и вибрации, возникающие вследствие контакта колёс с поверхностью дороги;
- рабочие органы: вибрации возникают при эксплуатации механизмов захвата, погрузки, транспортировки груза.

Что касается звука, доминируют шумы, производимые двигателем и выхлопной системой, гидравлическими насосами и вентиляторами охлаждения.

Воздействие вибрации и шума оказывает комплексное влияние на человеческий организм. Оно проявляется в усталости мышц, снижении остроты зрения, нарушении координации движений и появлении стресса. Длительное пребывание в среде повышенной вибрации и шума способно вызывать заболевания опорно-двигательного аппарата, нервной системы и слуха.

Согласно санитарным нормам, предельно допустимый уровень шума в рабочей зоне кабины водителя не должен превышать 85 дБА, а уровни вибрации должны соответствовать установленным стандартам ГОСТ.

Современные методы снижения вибрации и шума

Чтобы бороться с вибрацией и шумом, инженеры придумали несколько специальных приёмов. Они помогают гасить нежелательные механические и

акустические колебания или хотя бы не дают им распространяться. Вот основные.

1. Активные и пассивные демпфирующие устройства

Самый популярный способ – поставить специальные амортизаторы. Они бывают активные и пассивные. Активные демпферы используют электронные датчики и исполнительные механизмы, чтобы компенсировать возникающие колебания. У них можно точно настроить частоту и фазу, поэтому они способны погасить даже сильную вибрацию. Пассивные демпферы работают проще – за счёт упругости своих элементов. Они гасят колебания механически. Конструкция у них надёжная и нехитрая, но если наступает резонанс частот, эффективность падает.

2. Улучшенная изоляция кабины

Один из главных способов уберечь оператора от шума и вибрации – переделывать саму кабину. В современных кабинах ставят многослойные звукоизоляционные панели, которые поглощают шум. А сиденья и пол подвешивают на резинометаллические крепления – они не пропускают вибрацию на тело человека. Кроме традиционных материалов вроде поролона, пенополистирола и минваты, сейчас активно используют композитные панели – у них отличные показатели как по шумоизоляции, так и по виброизоляции.

3. Оптимизация рабочих органов и подвески

Особое внимание – тому, как устроены рабочие органы и подвески. Ставят качественные подшипники, тщательно балансируют всё, что вращается, улучшают крепление узлов. Всё это снижает резонансные эффекты и повышает надёжность. Ещё один важный момент – правильно спроектировать шасси и переднюю подвеску. Тогда нагрузка распределяется равномерно, а неровности дороги хорошо фильтруются.

4. Специальные акустические экраны и покрытия

Широко используют идею звукового экранирования. Ставят специальные панели, экраны, покрытия – они не дают звуковым волнам распространяться. Делают такие панели из композитных материалов с высоким звукопоглощением – вспененный полиуретан, стекловолокно, базальтовые волокна.

5. Автоматизированные системы контроля и диагностики

Отдельно стоит сказать про автоматические системы, которые следят за вибрацией и шумом. Они позволяют быстро заметить, когда что-то пошло не так, и вовремя устранить неисправность. Такие системы уже встроены в бортовые компьютеры современных машин, всё контролируется дистанционно.

Перспективы совершенствования методов вибро- и шумоподавления

Сейчас специалисты ищут новые, ещё более эффективные технические решения. И вот какие направления считают самыми перспективными.

– Умные полимерные материалы и сплавы. Они лёгкие, прочные и умеют накапливать энергию вибраций, превращая её в тепло.

– Электродинамическая виброизоляция. Используется концепция обратной энергии – можно не только гасить вибрации, но и запасать эту энергию для нужд самой машины.

– Интеллектуальные сиденья и кресла. В них встроены датчики и активные механизмы, так что кресло само меняет жёсткость и угол наклона – в зависимости от условий движения.

– Электронные антишумовые системы. Берут микрофоны и громкоговорители, создают встречную фазу – и активно подавляют шум.

Сегодня специалисты сходятся во мнении: пора переходить от пассивной защиты к активным технологиям. Встраивать датчики, умные регуляторы, интерактивные компоненты – чтобы система сама реагировала на изменения.

Заключение

Поставленная задача снижения уровня вибрации и шума в транспортно-технологических машинах решается параллельно с инновационными достижениями в машиностроении и материаловедении. Ее решение является актуальной в связи с растущими потребностями комфорта работы с такими машинами и обеспечения безопасной работы с ними.

Исследования в данной области должны опираться на достижения в различных смежных научных областях. Такой комплексный подход позволит улучшить условия труда и повысить безопасность работы на транспортно-технологических средствах, а также увеличить срок их эксплуатации.

Список литературы

1. Лебедев, Г. С. Справочник по технологическому оборудованию для ремонта и технического обслуживания автомобилей и тракторов/ Г. С. Лебедев. – ВГАСУ. – Воронеж, 2002. - 487 с.
2. ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения : издание официальное : дата введения 1984-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1984. – 27 с.
3. Устинов Ю.Ф. Методические колебания и виброакустическая защита транспортно-технологических строительных машин: учеб. пособие/ Ю.Ф. Устинов; Воронежский ГАСУ. Воронеж, 2015. -239с.
4. Лебединский И.Ю., Сиротин П.В., Черненко А.Б., Сысоев М.И. Принципы создания систем поддрессоривания кабин транспортно-технологических самоходных машин // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 2. С. 105-109.
5. Скворцов, А. И. Демпфирующие сплавы железа для снижения вредных вибраций и шумов в машинах и механизмах / А. И. Скворцов, М. А. Мельчаков // Главный механик. – 2020. – № 4. – С. 26-29. – EDN DACPCZ.
6. Давиденко, Д. М. Анализ и решение проблем снижения шума и вибрации автомобилей / Д. М. Давиденко // ЛУЧШАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ 2016 : сборник статей победителей IV международного научно-практического конкурса, Пенза, 30 ноября 2016 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2016. – С. 63-65. – EDN XBUOKB.
7. Егоров, Н. М. Снижение вибрации и шума механических транспортных средств / Н. М. Егоров, Ф. Х. Халиуллин // Сельский механизатор. – 2017. – № 6. – С. 46-47. – EDN YQRJXP.
8. Ивницкий, В. О. Технологии снижения шума и вибраций в автомобильных двигателях / В. О. Ивницкий // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов конференции, Белгород, 29–30 мая 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 110-113. – EDN CREQHF.

References

1. Lebedev, G. S. Handbook of technological equipment for repair and maintenance of cars and tractors/ G. S. Lebedev. Voronezh : VGASU, 2002, 487 p.

2. GOST 25866-83. Operation of equipment. Terms and definitions: interstate standard. – Introduction. 1984-01-01. – Moscow : Gosstandart of the USSR. – 1984. – 27 p.

3. Ustinov Yu.F. Methodical vibrations and vibroacoustic protection of transport and technological construction machines: textbook. manual/ Yu.F. Ustinov; Voronezh GASU. Voronezh, 2015. -239s.

4. Lebedinsky I.Yu., Sirotin P.V., Chernenko A.B., Sysoev M.I. Principles of creating cabin springing systems for transport and technological self-propelled vehicles // Modern science-intensive technologies. 2019. No. 2. pp. 105-109.

5. Skvortsov, A. I. Damping iron alloys to reduce harmful vibrations and noises in machines and mechanisms / A. I. Skvortsov, M. A. Melchakov // Chief Mechanic. – 2020. – No. 4. – pp. 26-29. – EDN DACPCZ.

6. Davidenko, D. M. Analysis and solution of problems of noise reduction and vibration of cars / D. M. Davidenko // THE BEST SCIENTIFIC ARTICLE of 2016 : collection of articles by the winners of the IV international scientific and practical conference, Penza, November 30, 2016. Penza: "Science and Enlightenment" (IP Gulyaev G.Yu.), 2016. pp. 63-65. – EDN XBUOKB.

7. Egorov, N. M. Reduction of vibration and noise of mechanical vehicles / N. M. Egorov, F. H. Khaliullin // Rural mechanic. – 2017. – No. 6. – pp. 46-47. – EDN YQRJXP.

8. Ivnitkiy, V. O. Technologies for reducing noise and vibrations in automobile engines / V. O. Ivnitkiy // Collection of reports of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of the V.G. Shukhov BSTU : Collection of conference reports, Belgorod, May 29-30, 2025. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2025. pp. 110-113. - EDN CREQHF.

АСПЕКТЫ МЕЖДУНАРОДНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

М.В. Опара¹, С.А. Врагов¹, К.А. Буренкина¹, М.А. Опара²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²МБОУ «Содружество», г. Воронеж

Аннотация: В представленном исследовании осуществлено комплексное сопоставление нормативно-правовых актов Российской Федерации и зарубежных государств в сфере обеспечения информационной безопасности. Особое внимание акцентируется на ключевых положениях Федерального закона № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» и американского Federal Information Security Management Act. Проведен анализ классификации информационных ресурсов, методологий защиты персональных сведений, а также правовых механизмов привлечения к ответственности при инцидентах утечки данных. Исследованы практические сложности имплементации законодательных норм в реальной деятельности организаций.

Ключевые слова: информационная безопасность; нормативно-правовое регулирование; персональные данные; 149-ФЗ; защита информационных ресурсов; ответственность операторов; сравнительный правовой анализ.

ASPECTS OF INTERNATIONAL LEGISLATION IN THE FIELD OF IN- FORMATION SECURITY

M.V. Opara¹, S.A. Vragov¹, K.A. Burenkina¹, M.A. Opara²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²MBOU "Sodruzhestvo", Voronezh

Abstract: The presented research provides a comprehensive comparison of regulatory legal acts of the Russian Federation and foreign states in the field of information security. Special attention is focused on the key provisions of Federal Law No. 149-FZ «On Information, Information Technologies and Information Protection» and the American Federal Information Security Management Act. An analysis of the classification of information resources, methodologies for protecting personal data, as well as legal mechanisms for bringing to liability in cases of data leakage incidents is conducted.

The practical difficulties of implementing legislative norms in the real activities of organizations are investigated.

Keywords: information security; regulatory framework; personal data; 149-FZ; information resource protection; operator liability; comparative legal analysis.

Введение

В современную эпоху всеобъемлющей цифровизации общественных процессов проблематика обеспечения информационной безопасности выходит на первый план как одна из определяющих составляющих национальной безопасности любого государства. Ежегодный рост объемов обрабатываемых персональных данных носит экспоненциальный характер, в то время как инциденты несанкционированного доступа к конфиденциальной информации трансформируются в системные угрозы, затрагивающие не только интересы конкретных граждан, но и устойчивость государственных институтов в целом [1].

Несовершенство механизмов правоприменения, дефицит эффективных инструментов привлечения к ответственности за правонарушения в данной сфере, а также расхождения между декларируемыми гарантиями защиты и фактическим положением дел обуславливают исключительную актуальность комплексного анализа действующего законодательства. Цель настоящего исследования заключается в систематизации ключевых положений отечественного и международного нормативно-правового регулирования в области информационной безопасности, выявлении существующих проблем имплементации и определении перспективных направлений совершенствования правовых механизмов.

Информационная безопасность

Информационная безопасность представляет собой многогранное явление, интегрирующее в себе как технические, так и юридические аспекты обеспечения защищенности информационных ресурсов. В системе российского права фундаментальным актом, устанавливающим правовые основания регулирования общественных отношений в информационной сфере, является Федеральный закон от 27 июля 2006 года № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [1].

Данный нормативный документ содержит базовую терминологию и определения, которые служат отправной точкой для всех подзаконных актов, регламентирующих вопросы защиты информации. Помимо прочего, законодатель вводит институциональное деление информации на категории (общедоступная и информация с ограниченным распространением) и типы (сведения, свободно

распространяемые; предоставляемые на договорной основе; подлежащие распространению в соответствии с законодательством; информация ограниченного доступа; сведения, запрещенные к распространению).

Согласно положениям 149-ФЗ, вся информация подразделяется на две основные категории: общедоступную и информацию с ограниченным распространением. Последняя категория, в свою очередь, включает в себя свободно распространяемые сведения, информацию, предоставляемую на основании договорных отношений, данные, подлежащие распространению в соответствии с требованиями законодательства, сведения ограниченного доступа и информацию, запрещенную к распространению. Ключевые положения закона закрепляют следующие принципы: запрет на сбор и распространение сведений о частной жизни без получения согласия субъекта; равнозначность применяемых информационных технологий; обязанность операторов обеспечивать защиту хранимой информации [1].

Государственный надзор в сфере информационной безопасности реализуется посредством функционирования реестра запрещенных интернет-ресурсов, администрируемого Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Тем не менее практика свидетельствует о том, что институциональные меры защиты зачастую не сопровождаются действенной ответственностью за инциденты утечки персональных данных [2].

В международной практике ключевую роль в формировании правовой базы информационной безопасности играет американский Federal Information Security Management Act (FISMA). Целью данного акта является обеспечение реализации минимально достаточного комплекса мер по гарантированию безопасности информации в федеральных автоматизированных системах. Характерной особенностью американского законодательства является четкое закрепление субъектов ответственности – в частности, Национального института стандартов и технологий (NIST), которому делегированы полномочия по проведению исследований уязвимостей информационных систем [3].

Законодательство США и подход к защите информации

В США есть закон, который обязывает всех операторов федеральных информационных систем с конфиденциальными данными разрабатывать планы по безопасности и регулярно учить персонал. Идея в том, что защита должна быть

системной и нацеленной на предупреждение проблем. Такой подход реально повышает устойчивость инфраструктуры к угрозам.

Европейский подход – GDPR

Помимо американской модели, внимания заслуживает европейская – Общий регламент по защите данных (GDPR). Это очень жёсткий документ. Он устанавливает строгие правила для обработки персональных данных граждан Евросоюза, а за нарушения грозят огромные штрафы – до 4% годового оборота компании или 20 миллионов евро, что больше [4].

Сравнение России и США

Если сравнить российский и американский подходы, видно принципиальное различие в том, как привлекают к ответственности. Российская модель – в ней нормы защиты часто носят декларативный характер, а жёсткой персональной ответственности за утечки данных нет. На практике это выглядит так: операторы связи почти не несут наказания за массовые утечки номеров телефонов, которые потом используют телефонные мошенники [2].

Зарубежная модель, наоборот, более чётко прописывает обязанности операторов и механизмы контроля со стороны специальных ведомств. Но у обеих систем есть общие проблемы. Декларируемая защита персональных данных постоянно сталкивается с требованиями эти же данные подтверждать. Непонятно, как определять достоверность информации при проверках со стороны государства. И самое главное – правоприменительные механизмы вечно отстают от того, как быстро развиваются угрозы.

Правоприменительная практика

Если посмотреть, как законы работают на деле, то сразу видно: эффективность законодательства сильно зависит не только от того, как хорошо написаны нормативные акты, но и от того, есть ли механизмы, чтобы их исполнять. В России с этим беда – не хватает превентивных мер, плохо прописаны процедуры аудита информационных систем.

Куда двигаться дальше

Какие направления кажутся самыми важными для улучшения законов в сфере информационной безопасности? Во-первых, нужно вводить более жёст-

кую административную и уголовную ответственность операторов за утечки персональных данных. Во-вторых, надо приводить требования к защите информации в соответствие с международными стандартами – в частности, с ISO/IEC 27001. В-третьих, стоит развивать механизмы государственного аудита информационных систем и создавать независимые структуры, которые будут оценивать защищённость [3].

Отдельно важно выработать единые подходы к сертификации средств защиты информации и стандартизации того, как оценивают соответствие. Международный опыт говорит: если сертификаты признают друг друга, а требования согласованы, бизнес несёт меньше издержек, а уровень защищённости всей информационной инфраструктуры растёт.

Вывод по исследованию

В ходе работы мы сравнили российское и зарубежное законодательство в сфере информационной безопасности. Рассмотрели ключевые положения российского закона №149-ФЗ и американского FISMA, выявили принципиальную разницу в подходах к ответственности операторов. Подчеркнули, насколько остро стоит проблема реальной защиты персональных данных сегодня – когда утечки стали массовыми, а эффективных механизмов ответственности почти нет.

Заключение

Определены перспективные направления совершенствования правового регулирования, направленные на преодоление разрыва между декларативными нормами и практической реализацией мер защиты информации. Полученные результаты могут быть использованы при разработке предложений по совершенствованию законодательства в области информационной безопасности, а также в образовательном процессе при подготовке специалистов в сфере информационных технологий и юриспруденции.

Список литературы

1. Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (ч. I). – Ст. 3448.
2. Гриценко, А. А. Проблемы реализации законодательства о защите персональных данных в Российской Федерации / А. А. Гриценко // Юрист. – 2023. – № 4. – С. 18-22.

3. Солдатова, Ю. В. Сравнительный анализ подходов к обеспечению информационной безопасности в России и США / Ю. В. Солдатова // Вестник университета. – 2022. – № 6. – С. 45–52.

4. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data (GDPR) // Official Journal of the European Union. – 2016. – L 119.

5. Federal Information Security Management Act of 2002 (FISMA) // U.S. Code. – Title 44, Chapter 35, Subchapter III.

6. Дмитриев, Е. А. Математическое моделирование и реализация информационно-расчетных задач «маскировка» / Е. А. Дмитриев, А. Ф. Тараканов, Е. А. Шипилова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 32-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-32-42. – EDN DJJKYT.

References

1. Federal Law No. 149-FZ of July 27, 2006 «On Information, Information Technologies and Information Protection» // Collection of Legislation of the Russian Federation. – 2006. – No. 31 (Part I). – Art. 3448.

2. Gritsenko, A. A. Problems of Implementing Personal Data Protection Legislation in the Russian Federation / A. A. Gritsenko // Yurist. – 2023. – No. 4. – P. 18-22.

3. Soldatova, Yu. V. Comparative Analysis of Approaches to Information Security in Russia and the USA / Yu. V. Soldatova // University Bulletin. – 2022. – No. 6. – P. 45–52.

4. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data (GDPR) // Official Journal of the European Union. – 2016. – L 119.

5. Federal Information Security Management Act of 2002 (FISMA) // U.S. Code. – Title 44, Chapter 35, Subchapter III.

6. Dmitriev, E. A. Mathematical Modeling and Implementation of Information and Calculation Tasks "Masking" / E. A. Dmitriev, A. F. Tarakanov, and E. A. Shipilova // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 32-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-32-42. – EDN DJJKYT.

**ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОЛОМКИ ПО ШУМУ ДАННЫХ:
КАК DATA MINING И ML СОЗДАЮТ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ
В ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЕ**

Е.С. Павлов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Рассматривается подход к обеспечению отказоустойчивости ИТ-инфраструктуры на основе анализа шумовых данных и машинного обучения. Проанализированы источники «шума» в ИТ-системах: логи, метрики и акустические сигналы. Изучены архитектуры моделей, детектирующих аномалии за 6-10 суток до отказа. Рассмотрены проблемы интерпретируемости и качества данных. Проанализированы перспективные направления развития предиктивной аналитики.

Ключевые слова: ИТ-инфраструктура, предиктивная аналитика, машинное обучение, data mining, обнаружение аномалий, AIOps, observability, шум данных.

**PREDICTING FAILURES THROUGH DATA NOISE: HOW DATA MINING
AND ML CREATE FAILURE MODELS IN IT INFRASTRUCTURE**

E.S. Pavlov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. An approach to ensuring IT infrastructure fault tolerance based on noise data analysis and machine learning is considered. Sources of "noise" in IT systems are analyzed: logs, metrics, and acoustic signals. Architectures of models detecting anomalies 6-10 days before failure are studied. Problems of interpretability and data quality are considered. Promising directions for predictive analytics development are analyzed.

Keywords: IT infrastructure, predictive analytics, machine learning, data mining, anomaly detection, AIOps, observability.

Введение

В эпоху цифровой трансформации современные организации сталкиваются с критической проблемой обеспечения бесперебойной работы своей IT-инфраструктуры. С увеличением числа распределенных систем и объемов генерируемых данных обычные методы мониторинга, основанные на ручных проверках и пороговых правилах, перестают быть эффективными [3, 7]. Согласно исследованиям, средняя стоимость одного часа высокоэффективного простоя (high-impact outage) в 2025 году достигла 2 миллионов долларов, что составляет более 33 000 долларов за каждую минуту неработоспособности системы [10]. При этом, по данным аналитиков, 60 процентов организаций испытывают трудности с определением первопричины инцидента из-за перегруженности данными и отсутствия контекста [10].

Основная сложность заключается в том, что привычные системы класса rule-based inference engines не справляются с огромным потоком алертов, которые генерируются современными IT-системами [7]. Инженеры по эксплуатации получают кучу уведомлений, большинство из которых оказываются ложными срабатываниями. В ответ на этот вызов сформировалось направление AIOps (Artificial Intelligence for IT Operations), предлагающее использовать продвинутую аналитику и машинное обучение для автоматизации и повышения качества supervision-систем. Однако до недавнего времени основное внимание уделялось обнаружению уже произошедших сбоев, тогда как ключевая задача наших дней – не просто зафиксировать поломку, а предсказать её до того, как она случится [2, 5].

Источники данных и природа шума в IT-инфраструктуре

Шум в IT-инфраструктуре – это всё, что сопровождает работу железа и софта и что мы обычно не замечаем. Источников данных несколько. Во-первых, структурированные метрики – лог-файлы, показания датчиков температуры, загрузка процессора, сколько энергии жрёт сервер [2]. Во-вторых, полуструктурированные данные – сообщения об ошибках, предупреждения, трейсы распределённых транзакций. В-третьих, акустические сигналы от вращающихся частей – вентиляторы, серверные стойки, дисковые массивы. По звуку можно понять, насколько они изношены [4, 8].

Особенно интересны данные, которые раньше системы мониторинга просто игнорировали. Например, небольшие скачки напряжения внутри блоков питания, едва заметное изменение звука вентиляторов или внезапные задержки при

записи на диск – всё это может оказаться ранними признаками того, что скоро что-то сломается. В работе [1] подчёркивается: если алгоритмы устойчивы к помехам, они способны держать точность диагностики не ниже 92%, даже когда в сенсорных данных не хватает до 25% значений.

Исследования показывают, что аномальное поведение оборудования часто даёт о себе знать задолго до того, как случится катастрофа. Например, когда анализировали временные ряды сигнатур работы станков с ЧПУ, аномалии удавалось выявить за 3 минуты до поломки инструмента и за 6 минут до ошибки датчика прутка [5]. В дата-центрах похожая история. Модули предсказательной аналитики из системы DATCHECK во время тестов обнаруживали потенциальные аварии (утечку фреона, загрязнение теплообменника) на 6–10 суток раньше, чем они реально случались [2, 6].

Архитектуры моделей прогнозирования отказов

Для создания моделей отказов применяется широкий спектр алгоритмов машинного обучения и data mining. Классические методы, такие как правила и пороговые значения, уступают место более сложным подходам. В работе MachineMetrics используется метод кластеризации DBSCAN для изоляции аномальных сигнатур деталей на фоне нормального производственного процесса [5]. Анализ временных рядов позволяет выявить отклонения, невидимые при стандартном мониторинге.

Модели supervised learning требуют размеченных данных о прошлых отказах, что не всегда доступно. В связи с этим активно развиваются подходы unsupervised learning. Например, применение автоэнкодеров для выявления аномалий в потоках данных без необходимости в предварительной разметке. Гибридные подходы, такие как semi-supervised learning, используют малое количество размеченных инцидентов для уточнения границ аномалий, обнаруженных неконтролируемыми методами [3].

Критическим этапом построения любой модели является инжиниринг признаков (feature engineering). В работе [8] показано, что применение преобразования Фурье и вейвлет-анализа к акустическим сигналам позволяет выделить частотные компоненты, коррелирующие с конкретными типами дефектов. Для анализа логов используются методы обработки естественного языка (NLP), такие как Word2Vec или BERT, для преобразования текстовых сообщений в векторные представления, пригодные для машинного обучения.

Отдельный класс представляют модели акустического анализа. Чешский стартап Neuron Soundware разработал подход, аналогичный языковым моделям ChatGPT: звуки работающего оборудования преобразуются в звуковые токены (было получено 33,6 млрд токенов), на которых обучается модель, предсказывающая следующий ожидаемый звук. Если реальный звук не совпадает с предсказанным (например, стук вместо ожидаемого гула), система помечает это как потенциальную неисправность [4]. Такой подход позволяет не только детектировать уже известные типы неисправностей, но и выявлять совершенно новые, ранее не встречавшиеся паттерны.

Таблица 1 – сравнение подходов к прогнозированию отказов

Метод	Тип данных	Горизонт предсказания
Кластеризация (DBSCAN)	Сигнатуры циклов работы оборудования	3-6 минут
Предиктивная аналитика (Datcheck)	Параметры охлаждения и электропитания ЦОД	6-10 суток
Акустические токены (Neuron Soundware)	Звуки, вибрации, температура	До нескольких недель
Автоэнкодеры (временные ряды)	Метрики производительности	30-60 минут

Проблемы интерпретируемости и верификации моделей

Один из главных камней преткновения для внедрения AIOps – это непрозрачность моделей, та самая проблема «чёрного ящика». Инженеры не готовы доверять решениям, если не понимают, почему система сделала именно так, а не иначе [3]. Если модель не даёт чёткого объяснения, промышленность не спешит её принимать – нужна ясность в том, как принимаются решения по обслуживанию [7].

Решать эту проблему нужно через explainable AI (XAI). В диссертации [3] предлагают использовать технику Subgroup Discovery и её обобщение Exceptional Model Mining. С их помощью можно вытаскивать понятные гипотезы из огромных и разнородных массивов данных. Это позволяет не просто предсказать инцидент, а понять, какие именно куски SQL-запросов или сочетания параметров привели к падению производительности. Есть и другие подходы – LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) и SHAP (SHapley Additive exPlanations). Они помогают объяснять отдельные предсказания модели.

Ещё одна проблема – верификация и валидация. Модель, которая отлично работала на исторических данных, может дать сбой в реальной жизни. Потому

что характер шума меняется, появляются новые типы отказов – это называется дрейф концепции. Поэтому очень важно использовать активное обучение и байесовскую оптимизацию, чтобы доучивать модели на небольших свежих выборках [5]. И не забывать различать аномалии: те, что предшествуют отказу, те, что появляются одновременно с сигналом тревоги, и просто шумовые, не несущие угрозы [5].

Качество данных для обучения – решающий фактор. В работе [1] показали, что если применять робастные методы обработки пропусков и выбросов, точность прогнозов вырастает на 15–20%. Отдельно надо следить за синхронизацией данных из разных источников и за тем, чтобы они были согласованы по времени.

Системы реального времени и промышленное внедрение

Переход от лабораторных прототипов к промышленности требует решать задачи масштабируемости и низкой задержки. В современных системах, например nEdge PRO от Neuron Soundware, используют edge computing – анализ данных происходит прямо на устройстве, рядом с источником. Встроенный чип Nvidia Jetson Orin Nano выдаёт до 40 TOPS, так что отклик получается в секундах, даже когда нет нормального доступа в облако [4]. Для удалённых объектов – шахт, нефтяных платформ, ветрогенераторов – это жизненно важно.

Система Datcheck для мониторинга ЦОД и промышленной инфраструктуры умеет интегрироваться с существующими SCADA-системами и работать как с российскими, так и с зарубежными компонентами [2, 6]. Важная её особенность – способность работать с неполными данными и восстанавливать пропущенные значения методами машинного обучения.

Тренд 2025 года – консолидация инструментов наблюдаемости (observability). Если в 2023 году компании использовали в среднем шесть разных инструментов мониторинга, то к 2025 году их число сократилось до 4,4 [10]. Бизнес стремится свести метрики, логи и трейсы под одним «стеклом», а AI-ассистенты упрощают поиск корневых причин. Ещё один важный тренд – федеративное обучение (federated learning). Оно позволяет обучать модели на данных с разных площадок, не передавая конфиденциальную информацию в единое хранилище [9].

Заключение

Основными векторами развития предиктивной аналитики в ИТ-инфраструктуре становятся гибридные подходы, объединяющие анализ метрик, логов и акустических сигналов с применением больших языковых моделей. Байесовская оптимизация позволяет минимизировать число экспериментов при настройке гиперпараметров для многоцелевых задач – стоимости простоев, скорости детекции, точности прогнозирования.

Современные подходы к обеспечению отказоустойчивости должны формировать симбиоз методов анализа данных (кластеризация, Subgroup Discovery), аппаратных инноваций (периферийные устройства с GPU) и методов объяснимого искусственного интеллекта (explainable AI) для повышения доверия к моделям. Исследования показывают, что организации с полностековой наблюдаемостью (full-stack observability) сокращают среднюю стоимость простоев вдвое по сравнению с теми, у кого наблюдаемость отсутствует [10].

Перспективные исследования в данной области следует направлять на адаптацию моделей для мультимодальных данных, изучение возможностей квантовых вычислений для ускорения оптимизации, а также создание самообучающихся производственных линий через интеграцию с IoT и цифровыми двойниками. Отдельного внимания заслуживают разработка методов федеративного обучения для обеспечения конфиденциальности данных и создание отраслевых стандартов качества данных для предиктивной аналитики. Ключевая цель – переход от реактивного управления инцидентами к проактивному предотвращению сбоев, при котором система не просто фиксирует поломку, а не допускает её возникновения.

Список литературы

1. Жигалов К.Ю., Огородников О.В. Робастная система мониторинга технического состояния строительных и дорожных машин при неполных и зашумлённых данных сенсоров // Строительные и дорожные машины. 2025. №10, Том 69. С. 102-108. URL: <https://www.ipu.ru/node/82773> (дата обращения: 19.02.2026).
2. Российская система мониторинга Datcheck получила ИИ-модули для прогнозирования сбоев // TAdviser. 2025. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Datark_Datcheck_SCADA-система (дата обращения: 19.02.2026).

3. Remil Y. A data mining perspective on explainable AIOps with applications to software maintenance: Ph.D. thesis. INSA de Lyon, 2023. URL: <https://theses.hal.science/tel-04391281> (дата обращения: 19.02.2026).
4. Neuron Soundware and CEITEC BUT bring intelligent machine lifespan prediction // RICAIP. 2025. URL: <https://ricaip.eu/neuron-soundware-machine-lifespan-prediction/> (дата обращения: 19.02.2026).
5. Zhang L. Обнаружение аномалий ЧПУ с помощью машинного обучения без учителя. Часть 4: Применение на производстве // isicad.ru. URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21229 (дата обращения: 19.02.2026).
6. Российская система мониторинга Datcheck получила ИИ-модули для прогнозирования сбоев // CNews.ru. 2025. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2025-12-05_rossijskaya_sistema_monitoringa (дата обращения: 19.02.2026).
7. Remil Y. A data mining perspective on explainable AIOps with applications to software maintenance // HAL Université Lyon 2. 2023. URL: <https://hal.univ-lyon2.fr/tel-04391281v1/datacite> (дата обращения: 19.02.2026).
8. Audible Noise-Based Hardware System for Acoustic Monitoring in Wind Turbines // MDPI Inventions. 2025. Vol. 10, № 4. Art. 58. URL: <https://www.mdpi.com/2411-5134/10/4/58> (дата обращения: 19.02.2026).
9. Система распознавания неполадок на производстве на основе акустического канала с помощью искусственного интеллекта // Университет 2035. URL: <https://pt.2035.university/project/sistema-raspoznavania-nepoladok-na-proizvodstve-na-osnove-akusticeskogo-kanala-s-pomосу-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 19.02.2026).
10. Observability in 2025: From Reactive to Predictive // ETR.ai. 2025. URL: <https://research.etr.ai/etr-data-drop/observability-in-2025-from-reactive-to-predictive> (дата обращения: 19.02.2026).

References

1. Zhigalov K.Yu., Ogorodnikov O.V. Robust Monitoring System for Technical Condition of Construction and Road Machinery under Incomplete and Noisy Sensor Data // Construction and Road Building Machinery. 2025. No. 10, Vol. 69. Pp. 102-108.
2. Russian Monitoring System Datcheck Receives AI Modules for Failure Prediction // TAdviser. 2025.

3. Remil Y. A data mining perspective on explainable AIOps with applications to software maintenance: Ph.D. thesis. INSA de Lyon, 2023.
4. Neuron Soundware and CEITEC BUT bring intelligent machine lifespan prediction // RICAIP. 2025.
5. Zhang L. Unsupervised Anomaly Detection for CNC Machines. Part 4: Production Deployment // isicad.ru.
6. Russian Monitoring System Datcheck Receives AI Modules for Failure Prediction // CNews.ru. 2025.
7. Remil Y. A data mining perspective on explainable AIOps with applications to software maintenance // HAL Université Lyon 2. 2023.
8. Audible Noise-Based Hardware System for Acoustic Monitoring in Wind Turbines // MDPI Inventions. 2025. Vol. 10, No. 4. Art. 58.
9. AI-based System for Industrial Fault Recognition via Acoustic Channel // University 2035.
10. Observability in 2025: From Reactive to Predictive // ETR.ai. 2025.

ИНТЕГРАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АРБИТРАЖА НА РЫНКЕ КРИПТОВАЛЮТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.Г. Парамонов¹, О.В. Оксюта¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается построение комплексной архитектуры потока данных для моделей машинного обучения, используемых в статистическом арбитраже на рынках цифровых активов, с акцентом на разработку признаков из разнородных источников. Систематизированы и классифицированы основные источники данных: данные микроструктуры рынка, блокчейн данные, альтернативные данные, такие как сентимент социальных сетей, мониторинг крупных кошельков, а также производные признаки.

Ключевые слова: криптовалютный арбитраж, статистический арбитраж, машинное обучение, блокчейн, BigData, потоковая обработка данных.

HETEROGENEOUS SOURCE DATA INTEGRATION FOR MACHINE LEARNING-DRIVEN CRYPTOCURRENCY ARBITRAGE

A.G. Paramonov¹, O.V. Oksyuta¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines the development of a comprehensive dataflow architecture for machine learning models used in statistical arbitrage in digital asset markets, with a focus on developing features from heterogeneous sources. The main data sources are systematized and classified: market microstructure data, blockchain data, alternative data such as social media sentiment, monitoring of large wallets, and derived features.

Keywords: cryptocurrency arbitrage, statistical arbitrage, machine learning, blockchain, BigData, streaming data processing.

Введение

Раньше криптовалютный арбитраж был простым – смотришь цены на разных биржах и ловишь разницу. Теперь всё сложнее. Нужны прогнозные стратегии и куча разнообразных данных. Современный рынок цифровых активов – это многомерная среда. Тут вам и децентрализованные биржи, и решения второго уровня (роллапы, каналы состояния, сайдчейны), и кросс-чейн мосты. Такой рост сложности привёл к качественному скачку в методах анализа. На смену простым триггерам по текущим ценам пришли прогнозные модели. Почему так произошло? Конкуренция выросла, технологии усложнились. Окна ликвидности открываются на доли секунды. Прибыль теперь зависит не только от того, насколько быстро ты сработал, но и от точности предсказания – куда и как пойдёт капитал между разными экосистемами. В этой работе мы хотим разработать и обосновать комплексный подход – как собрать разнородные данные в одну систему статистического арбитража и использовать машинное обучение.

Источники данных

Эффективные стратегии статистического арбитража основаны на многоуровневой системе данных:

Основополагающие рыночные данные — OHLCV данные (Open, High, Low, Close, Volume или Открытие, Максимум, Минимум, Закрытие, Объём), снимки книги заказов. На этих данных строится любая стратегия, не только статистического арбитража, так как они отражают реальную рыночную динамику. Снимок полного состояния книги заказов обеспечивает гораздо более глубокий анализ, чем просто отображение верхних цен покупки/продажи. Он показывает все текущие ордера на покупку и продажу на разных ценовых уровнях, позволяя оценить глубину рынка и ликвидность. Это крайне важно для понимания того, можно ли фактически совершить сделку по текущей цене без значительного проскальзывания.

Данные блокчейна — это данные о комиссиях за транзакции, задержке транзакций и мемпуле. Эти данные позволят определить реальные значения получаемой прибыли в результате транзакций. В этот же список входят данные о транзакциях: каждая передача стоимости, взаимодействие со смарт-контрактом, операция обмена на децентрализованной бирже (DEX) и распределение токенов. Вся эта информация доступна благодаря прозрачности блокчейна.

Кросс-чейн данные включают всю информацию, необходимую для отслеживания, анализа и прогнозирования разницы цен одного и того же актива в разных блокчейн-сетях. К ним относятся записи о транзакциях между блокчейнами.

Производные признаки – это производные признаки, преобразованные из исходных данных. Запаздывающая доходность (доходность N времени назад), скользящая статистика (скользящая средняя, периодная волатильность), время с момента последнего события (например, последнего крупного свопа), дисбаланс между ордерами на покупку и продажу, спред, корреляция между ценами коинов. Производные признаки отражают не атомарное значение, а рыночную ситуацию, которую модель может научиться связывать с будущим движением цены. Такие признаки помогают отфильтровать случайный шум необработанных данных и выделить лежащий в основе «сигнал» или тренд.

Альтернативные источники данных – к таким данным относятся общественное мнение, экономические и политические новости, потоки «умных денег» (транзакции крупных кошельков с положительным ростом). Правильная интерпретация этих данных может предоставить крупное преимущество в прогнозировании. Например, научные исследования указывают на устойчивую обратную зависимость между настроениями в социальных сетях и ценами на криптовалюты. Негативные настроения часто предшествуют резкому падению цен, в то время как позитивные настроения отстают от растущих трендов.

Интеграция данных

Практическое объединение этих разнообразных потоков данных можно объединить в один структурированный канал. Первоначальный сбор данных можно осуществлять с использованием платформ индексирования блокчейна (Dune Analytics, Allium), API бирж и специализированной инфраструктуры для мониторинга в реальном времени. Платформы индексирования могут упростить разработку и вынести операции по извлечению, индексации и преобразованию данных в своё поле деятельности. Обращение напрямую к API бирж предоставляет нам наименьшую временную задержку данных, однако в контексте статистического арбитража это может играть не столь большую роль, как в других, более активных видах арбитража.

Инжиниринг признаков и выбор модели

Когда сырые данные получены, их нужно превратить во что-то полезное. Этот процесс называется инжиниринг признаков. По сути, мы берём необработанные цифры и делаем из них новые, более информативные переменные, которые лучше отражают закономерности и повышают точность моделей машинного обучения. Для арбитража такими переменными будут, например, запаздывающая доходность, скользящие корреляции и статистика, дисбаланс ордеров, спред, а ещё оценка общественного мнения.

Какую модель брать для обучения – зависит от конкретной задачи. LSTM (сети с долгой краткосрочной памятью) хорошо ловят временные зависимости в динамике спредов. А деревья решений с градиентным бустингом отлично справляются с задачами классификации – например, предсказывать, какие ценовые расхождения выгодно закрыть. Графовые нейронные сети – они учитывают, как связаны обмены токенов, и характеристики рёбер (курсы обмена, объёмы, комиссии) – особенно эффективны для поиска многошаговых арбитражных путей.

Непрерывная адаптация моделей

Криптовалютные рынки динамичны – это значит, что модели нужно постоянно перепроверять и адаптировать. Те зависимости, которые сработали в одном рыночном режиме, могут стать бесполезными, когда волатильность, ликвидность или поведение участников меняются. Как с этим бороться? Динамическое обновление коинтеграции и ансамблевые методы, которые подстраиваются под новые условия – вот практические решения.

Что показал анализ

Результаты анализа выявили несколько ключевых моментов.

Во-первых, если объединять данные из разных источников, арбитражные возможности находятся гораздо лучше, чем если смотреть только на цены. Когда добавляешь данные о транзакциях в блокчейне, можно предсказывать перегрузку сети и корректировать стратегии на ходу. Анализ новостей и настроений в соцсетях даёт ценную информацию о том, чего ждёт рынок – трейдеры успевают предугадать движения цен и действовать на опережение.

Во-вторых, машинное обучение повышает точность обнаружения арбитража, потому что улавливает нелинейные зависимости. Нейронные сети особенно хороши – они лучше других предсказывают движения цен и находят оптимальные точки входа и выхода.

В-третьих, управление рисками критически важно для того, чтобы арбитражные стратегии не разорили тебя в долгой перспективе. Надо учитывать комиссии за транзакции, проскальзывание (slippage) и ограничения по ликвидности – без этого прибыль рано или поздно станет отрицательной.

Заключение

Практическое применение разнообразных источников данных для криптовалютного арбитража в конечном итоге сводится к фундаментальному принципу: информационное преимущество достигается не за счет какого-либо одного типа данных, а за счет стратегической интеграции взаимодополняющих сигналов. Арбитраж криптовалют с каждым годом становится более сложным вызовом, основным принципом решения которого является построение сложной инфраструктуры, способной наиболее быстро получать информацию, которую использует для получения наиболее точного результата.

Список литературы

1. Лундин А., Со Д. Выявление возможностей для арбитражной торговли криптовалютами с использованием данных из нескольких источников. 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.27639.33445.
2. Виетес, А. Машинное обучение, прогнозирование криптовалюты Ethereum и инвестиционные стратегии, основанные на знаниях / А. Виетес // Системы, основанные на знаниях – 2024 – №299 – DOI 10.1016/j.knosys.2024.112088
3. Володин, С. Н. Сравнение эффективности статистического арбитража на фондовом рынке и рынке криптовалют / С. Н. Володин, М. В. Спиридонов // Валютное регулирование. Валютный контроль – Москва, 2018. – № 9 – С. 23-31.
4. Dune Analytics. URL: <https://dune.com> (дата обращения: 25.02.2026).
5. Чжан Л., У Т., Лахричи С., Салас Флорес К. Конвейер обработки данных для алгоритмической торговли: сравнительное исследование приложений в финансах и криптоэкономике. // Международная конференция IEEE по блокчейну, 2022. 298-303. 10.1109/Blockchain55522.2022.00048.
6. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm / E. Grosheva, A. Zarevich, A. Deniskina, K. Fatullaeva // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bio-conf/202414503018.

7. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления / Ф. В. Макаренко, В. К. Зольников, А. И. Заревич [и др.] // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318–330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

References

1. Lundin A., Seo J. Identifying Cryptocurrency Arbitrage Trading Opportunities Using Multi-Source Data. 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.27639.33445.
2. Viéitez, A. Machine learning Ethereum cryptocurrency prediction and knowledge-based investment strategies / A. Viéitez // Knowledge-Based Systems – 2024 – №299 – DOI 10.1016/j.knosys.2024.112088
3. Volodin, S. N. Comparison of the effectiveness of statistical arbitrage in the stock market and the cryptocurrency market / S. N. Volodin, M. V. Spiridonov // Currency regulation. Currency control - Moscow, 2018. - No. 9 - P. 23-31
4. Dune Analytics. URL: <https://dune.com> (accessed: 25.02.2026).
5. Zhang L., Wu T., Lahrichi S., Salas Flores C. A Data Science Pipeline for Algorithmic Trading: A Comparative Study of Applications for Finance and Cryptoeconomics. // 2022 IEEE International Conference on Blockchain. 2022. 298-303. 10.1109/Blockchain55522.2022.00048.
6. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm / E. Grosseva, A. Zarevich, A. Deniskina, K. Fatullaeva // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
7. Approximation of the absorption spectrum of phosphide India in the context of modeling the process of sensitization / F. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ: КАК МАТЕМАТИКА ПОМОГАЕТ ПОНЯТЬ СООБЩЕСТВА

Н.И. Покачалов¹, О.А. Авилова¹, С.О. Бучнев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена применению теории графов для анализа социальных связей. В ней рассматривается процесс преобразования абстрактных элементов, а именно вершин и ребер, в модель человеческих отношений. Материал объясняет, какие метрики позволяют выявлять ключевых фигур в сообществе и обнаруживать естественные группы внутри сети. Эта информация будет полезна специалистам в области анализа данных, социологии и разработки информационных решений.

Ключевые слова: Граф, графовая модель, метрики, алгоритм.

APPLYING GRAPH THEORY TO SOCIAL CONNECTION ANALYSIS: HOW MATHEMATICS HELPS US UNDERSTAND COMMUNITIES

N.I. Pokachalov¹, O.A. Avilova¹, S.O. Buchnev¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the application of graph theory to social connection analysis. It examines the process of transforming abstract elements, namely vertices and edges, into a model of human relationships. The article explains which metrics allow us to identify key figures in a community and discover natural groups within a network. This information will be useful to specialists in data analysis, sociology, and information technology development.

Keywords: Graph, graph model, metrics, algorithm.

Введение

Каждый день мы участвуем в различных социальных структурах, начиная от круга друзей в социальных сетях и заканчивая профессиональными чатами. Эти связи, которые могут показаться хаотичными, на самом деле подчиняются

внутренним закономерностям. Еще с середины прошлого века социологи используют для их изучения теорию графов. Этот раздел математики занимается анализом взаимосвязей между объектами. С развитием цифровых технологий данный подход стал особенно важен. Графовая модель позволяет перевести качественные характеристики, например понятия ‘авторитет’, ‘влияние’ или ‘групповая сплоченность’, в конкретные числовые показатели, доступные для анализа. Далее мы рассмотрим практические аспекты применения этого подхода.

Основы: как представить общество в виде графа

Для начала договоримся об терминах. Любую социальную структуру можно представить как граф. Что это значит?

Вершины (узлы) – это отдельные участники сети: люди, организации, страницы в социальных сетях.

Ребра (связи) – это отношения между ними: дружба, подписка, совместная работа, переписка.

В зависимости от ситуации графы бывают разными:

1. Простой неориентированный граф подходит для взаимных отношений, как ‘друзья’ в Одноклассниках. Связь здесь не имеет направления.

2. Ориентированный граф (орграф) отражает односторонние связи, например, подписку на Telegram-канал или блог на RuTube. Здесь важно, кто на кого подписан.

3. Взвешенный граф учитывает не только наличие связи, но и ее силу. Весом ребра может быть количество сообщений, общих фотографий или частота встреч.

Такой подход позволяет перейти от слов к строгим структурам – матрицам смежности и инцидентности, которые уже можно обрабатывать на компьютере, искать в них закономерности и паттерны.

Ключевые метрики: кто в сети главный?

После того как сеть смоделирована, возникает вопрос: как оценить значимость каждого участника? Математика предлагает несколько интересных метрик центральности. Они похожи на разные системы подсчета голосов на выборах – каждая выявляет своего ‘лидера’.

1. Центральность по степени (степенная центральность). Самый простой показатель – это количество связей. В жизни это человек, который ‘со всеми знаком’. В ориентированной сети важно различать входящие связи (популярность) и исходящие (активность).

2. Центральность по близости. Этот показатель отвечает на вопрос: насколько быстро человек может дотянуться до всех остальных в сети? Он вычисляется через длины кратчайших путей. Вершина с высокой близостью – это тот, кто быстрее всех распространяет слухи или новости.

3. Центральность по посредничеству (междунесс). Это, пожалуй, самый интересный показатель. Он измеряет, как часто человек находится на кратчайшем пути между другими людьми. Такие участники – ‘мосты’ между разными группами. Они контролируют потоки информации и часто обладают уникальным влиянием, не будучи при этом самыми популярными.

4. Центральность по собственному вектору и PageRank. Эта метрика умнее простого подсчета связей. Ее принцип: ‘Важно не только ты, но и важность твоих друзей’. Если на вас подписано много уважаемых в сообществе людей, ваш ‘вес’ возрастает. Именно на этой идее работает знаменитый алгоритм PageRank, который лежит в основе поиска Яндекс, а также используется для оценки авторитетности страниц и пользователей.

Поиск сообществ: как найти свои ‘круги’

В любой большой сети люди неизбежно образуют группы по интересам, профессии или другим признакам. Обнаружение таких сплоченных сообществ – важная прикладная задача.

Поиск клик. Клика – это идеально сплоченная группа, где каждый знаком с каждым. Однако в реальности такие группы малы и встречаются редко, поэтому метод имеет ограниченное применение.

Иерархическая кластеризация. Можно идти ‘снизу вверх’: сначала каждый сам по себе, а потом постепенно объединять самых близких соседей. Или ‘сверху вниз’: начать со всей сети и последовательно разрезать ее, удаляя самые слабые, ‘мостовые’ связи. Классический алгоритм Гирвана-Ньюмана работает по второму принципу.

Оптимизация модулярности. Модулярность (Q) – это число, которое показывает, насколько хорошо сеть разделена на сообщества по сравнению со случайным графом. Современные алгоритмы (например, метод Лувена) стремятся

перераспределять вершины между группами так, чтобы максимизировать это значение Q , находя тем самым наиболее естественное разделение.

О чем важно помнить: ограничения моделей

Работая с графовыми моделями, нельзя забывать об их условности. Социальные сети динамичны и меняются каждый день, а анализ часто работает со ‘снимком’ на определенный момент. Кроме того, модель не различает, дружба это или вражда – оба типа связей выглядят одинаково. Наконец, расчет некоторых метрик для многомиллионных сетей требует огромных вычислительных ресурсов, что вынуждает использовать упрощенные алгоритмы.

Заключение

Теория графов предлагает удивительный и мощный способ взглянуть на социальный мир через призму математики. Она дает не просто метафоры, а реальные инструменты для измерения влияния, обнаружения сообществ и прогнозирования процессов. Освоение этого аппарата становится необходимым навыком не только для математиков и программистов, но и для социологов, маркетологов и аналитиков, работающих в эпоху больших данных и цифровых экосистем.

Список литературы

1. Модели случайных графов и их применение для моделирования программных систем. Гам А.В. Перспективы науки. 2023. № 9 (168). С. 10-15.
2. Разработка метода социального моделирования поведения сообществ вымышленных и малоизученных объектов с использованием гиперграфов. Кирсанов Г.Р., Мокряков А.В. В сборнике: Актуальные вопросы естественных наук и пути решения. Сборник материалов VII научно-практической конференции студентов и школьников с международным участием. Кинель, 2021. С. 104-110.
3. Модели теории графов как инструмент моделирования организационных систем (задача о клике). Баркалов С.А., Курочка П.Н., Серебрякова Е.А. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2024. Т. 24. № 4. С. 89-102.
4. Интеллектуальная обработка цифрового сетевого контента для эффективного обнаружения и противодействия нежелательной, сомнительной и

вредоносной информации. Саенко И.Б. Отчет о НИР № 18-11-00302. Российский научный фонд. 2020.

5. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева, С. Р. Карпенко // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137–140.

6. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140–143.

References

1. Random Graph Models and Their Application to Software System Modeling. Gam, A.V. Perspectives of Science. 2023, No. 9 (168). pp. 10–15.

2. Development of a Method for Social Modeling of the Behavior of Fictional and Little-Studied Object Communities Using Hypergraphs. Kirsanov, G.R., Mokryakov, A.V. In: Current Issues in Natural Sciences and Solutions. Proceedings of the VII Scientific and Practical Conference of Students and Schoolchildren with International Participation. Kinel, 2021. pp. 104–110.

3. Graph Theory Models as a Tool for Modeling Organizational Systems (the Clique Problem). Barkalov, S.A., Kurochka, P.N., Serebryakova, E.A. Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technology, Control, Radio Electronics. 2024. Vol. 24. No. 4. Pp. 89-102.

4. Intelligent processing of digital network content for effective detection and counteraction of unwanted, questionable, and malicious information. Saenko I.B. Research Report No. 18-11-00302. Russian Science Foundation. 2020.

5. Pulse method for determining the frequency characteristics of highly precise shunts / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva, S. R. Karpenko // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2012. Vol. 321, No. 4. pp. 137-140.

6. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider / A. I. Zarevich, S. V. Muravyov // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ФИЛОСОФСКАЯ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А.В. Полуэктов¹, Ф.В. Макаренко¹, М.А. Заревич²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГАОУ ВО «Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники»

Аннотация. В статье раскрываются философские и методологические основы искусственного интеллекта, в центре которых находится понятие моделирования. Рассматривается эволюция информации от физического свойства материи до функции сознания, анализируется соотношение данных и знаний, а также вводится оригинальная модель информации как семейства сведений. Особое внимание уделяется применению ИИ в 4П-медицине, промышленности и науке, а также этическим аспектам разработки интеллектуальных систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, моделирование, информация, данные, знания, семиотика, 4П-медицина, философия ИИ, этика ИИ, когнитивное моделирование

MODELING AS THE PHILOSOPHICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

A.V. Poluektov¹, F.V. Makarenko¹, M.A. Zarevich²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Abstract. The article explores the philosophical and methodological foundations of artificial intelligence, centered on the concept of modeling. It examines the evolution of information from a physical property of matter to a function of consciousness, analyzes the relationship between data and knowledge, and introduces an original model of information as a family of statements. Particular attention is given to the application of AI in 4P medicine (predictive, preventive, personalized, participatory), industry, and scientific research, as well as to the ethical aspects of developing intelligent systems.

Keywords: artificial intelligence, modeling, information, data, knowledge, semiotics, 4P medicine, philosophy of AI, AI ethics, cognitive modeling

Введение

Современное развитие искусственного интеллекта (ИИ) невозможно представить вне контекста его фундаментальных основ – моделирования, семиотики, теории информации и философии познания. В то время как практические достижения ИИ часто сводятся к узким задачам (распознавание образов, машинный перевод, прогнозирование), его теоретическая база уходит корнями в глубокие вопросы о природе знания, смысла, языка и взаимодействия человека с миром.

Рассмотрим философско-методологическую парадигму ИИ, в которой моделирование выступает не просто как инструмент, а как центральный процесс познания и воспроизведения интеллектуальной деятельности. Раскроем эволюцию понятия информации от физического свойства до функции сознания, исследует соотношение данных и знаний, а также демонстрирует, как эти концепции ложатся в основу современных ИИ-систем в здравоохранении, промышленности и науке.

Особое внимание уделяется семиотическому подходу – анализу знаковых систем как основы коммуникации между человеком и машиной. Именно через призму знаков, значений и интерпретаций становится возможным понять суть «интеллекта» в искусственных системах и обозначить границы их применимости.

Феномен информации: от материи до сознания

Первый уровень трактовки информации – физический, где информация рассматривается как свойство материи, проявляющееся в её структуре, состоянии и взаимодействиях [1].

На этом уровне информация не связана ни с живыми существами, ни с сознанием, а представляет собой закодированное состояние системы. Например, положение атомов в кристаллической решётке, спектр излучения звезды, распределение молекул в газе – всё это носит информацию о физических условиях, в которых существует объект.

Этот подход лежит в основе сенсорных систем ИИ: камеры, микрофоны, датчики давления и температуры фиксируют физические состояния среды и преобразуют их в цифровые сигналы – «сырые данные», которые затем обрабатываются ИИ-алгоритмами.

На следующем уровне информация рассматривается не как свойство отдельных объектов, а как характеристика организации сложной системы, т.е. информация как функция организации систем отражает степень упорядоченности, структурированности и взаимосвязей между элементами системы [2].

Понятие энтропии из термодинамики и теории информации здесь играет ключевую роль: чем ниже энтропия (выше порядок), тем больше информации содержится в системе. Например, ДНК – это не просто молекула, а высокоорганизованная структура, кодирующая информацию о строении и функционировании живого организма.

В ИИ этот уровень проявляется в архитектуре нейронных сетей, где самоорганизация весов и активаций позволяет выявлять скрытые структуры в данных. Так, например, свёрточные сети позволяют выделять иерархические признаки (края → текстуры → объекты), что является проявлением информации как функции организации.

С появлением жизни на Земле информация приобретает функциональное значение, т.к. она становится инструментом адаптации, самосохранения и репродукции, в живой материи. Она позволяет управлять процессами обмена веществ, осуществлять передачу наследственных признаков и поведения [3]. Ключевую роль играет обратная связь, т.к. организм воспринимает информацию из среды, обрабатывает её и реагирует на ее изменение. В данном варианте информации несет циклический формат обработки данных и работает на основе обучения с подкреплением, что является одним из ключевых методов ИИ, где агент «получает удовлетворение» через пробу и ошибку. Например, система ИИ анализирует данные ЭКГ пациента, выявляет отклонения от нормы (аритмия) и выдаёт рекомендацию врачу, где за правильный диагноз получает «поощрение», что по своей структуре напоминает биологической функцию «восприятие → интерпретация → реакция».

Переход на «высший уровень» происходит тогда, когда информация становится продуктом и инструментом сознания, где сознание приобретает возможность только воспринимать и хранить информацию, но и создавать новые знания, строить модели мира и оперировать абстракциями [3]. Этот уровень включает семантику, когда смысл придаётся знакам и символам. Например, восприятие слова «яблоко» воспринимается системой не только как звуковой или графический образ, а еще и обозначение целого класса объектов с определёнными свойствами. Так современные языковые модели (GPT, BERT) пытаются имитировать

этот уровень, обучаясь на огромных корпусах текста, однако, подлинное понимание смысла требует контекста, личного опыта и интеграции с сенсорным восприятием, чего ИИ пока лишён.

Соотношение данных и знаний

Рассмотрим систему взаимодействия между данными и знаниями. Данные воспринимаются как носители информации, т.е. описывают какие-то факты. Таким образом можно указать, что данные представляют первичную, необработанную информацию, представленную в формализованном виде, пригодном для хранения и ее передачи [2]. Например, показания датчиков на станке, результаты лабораторных анализов, записи в базе пациентов. Данные сами по себе не содержат смысла, они лишь являются информацией только в контексте интерпретации. Знания же несут структурированную информацию и являются обработанными данными, обогащёнными связями, причинно-следственными отношениями и семантикой. «Знания – это проверенная практикой, систематизированная информация о закономерностях объективного мира» [3]. Примером может служить база знаний в системе поддержки принятия решений в медицине, т.к. она содержит не просто симптомы и диагнозы, а правила данного вида «Если (лихорадка = да) И (кашель = да) И (утомляемость = да), ТО вероятность гриппа = 0.87». Эти системы используют логический вывод для получения новых знаний из имеющихся, что является прямой реализацией философской идеи о познании как построении модели мира. И переход от данных к знаниям лежит на основе моделирования, таким образом в данном контексте, «моделирование – это процесс построения и исследования моделей, замещающих реальные объекты или процессы» [3].

Рассмотрим элементы моделирования в контексте ИИ для получения знаний на основе исходных данных:

- статистические модели (регрессия, деревья решений) – используются в процессе выявления зависимостей в наборах данных;
- нейросетевые модели – применяются для «запоминания» сложных нелинейных паттернов;
- символические модели (онтологии, логические правила) – позволяют кодировать явные для использования знания.

Таким образом идеальный ИИ-проект представляет синтез всех вышесказанных подходов, которые дают следующую цепочку преобразований «данные

→ статистическая модель → извлечение семантических правил → пополнение базы знаний».

Семиотика информационных систем

И последний шаг к переходу информационных систем к ИИ это использование логики семантики. По определению, семиотика – это наука о знаках которая предлагает ключевую модель для понимания ИИ, построенная по алгоритму треугольника Огдена–Ричардса, которая включает:

- знак (символ) – слово, изображение, сигнал,
- значение – концепт, который обозначает знак,
- объект (референт) – реальный предмет или процесс.

Тогда переходя на специфику ИИ указанная модель строится следующим образом:

- знак – входные данные (пиксели изображения «кошки»),
- значение – внутреннее представление (вектор в скрытом слое нейросети),
- объект – реальная кошка в физическом мире.

Тогда переход на обработку данных в контексте с ИИ имеет следующую проблематику, которая сводится к тому, что ИИ не имеет прямого доступа к объекту, т.к. он оперирует только знаками. Это приводит к созданию риска семантического разрыва, т.к. при обработки данных, в состоянии, когда модель «думает», что распознаёт кошку, то на самом деле она лишь реагирует на артефакты фона. Тогда формирование информации можно рассматривать как семейства сведений. Перейдем к рассмотрению в данном ракурсе модели информации, где информация об объекте $I(x_0)$ будет формироваться как непустое семейство элементарных сведений о нём. И, например, информация о местожительстве человека может быть задана двумя эквивалентными наборами:

- {«г. СПб», «ул. УУУУУ», «д. №№», «кв. №№№»},
- {«Питер», «метро ММММ», «дом через дорогу», «квартира на ЭЭ этаже»}.

Оба набора содержат одну и ту же информацию, но выражены разными знаками. Это подчёркивает относительность данных и абсолютность знания.

В ИИ это соответствует задаче инвариантного представления: модель должна выдавать одинаковый результат независимо от формы входных данных (например, распознавать кошку на фото и в рисунке).

Информация в ИИ имеет прямую аналогию с базой данных:

- «Сведение о точке – запись в базе данных;
- x_0 – идентификатор объекта (ключ);
- δ – понятие;
- решётка понятий L – атрибуты».

Это позволяет рассматривать ИИ как динамическую распределённую базу знаний, где:

- объекты – сущности (пациенты, детали, транзакции),
- атрибуты – признаки (температура, размер, сумма),
- связи – правила («если деталь перегрета, то вероятность отказа растёт»).

Моделирование в прикладных областях ИИ

Таким образом, мы можем говорить об ИИ с точки зрения использования его в разных прикладных областях использования:

1. ИИ в здравоохранении. Моделирование позволяет создавать персонализированные цифровые двойники пациентов: «Интеллектуальные системы в здравоохранении используют модели для прогнозирования течения болезни, подбора терапии и мониторинга состояния». Например, модель, интегрирующая геномные данные, историю болезни и данные носимых датчиков, предсказывает риск сердечного приступа за 48 часов. Ключевой вызов – врач должен понимать, почему модель выдала тот или иной вывод.

2. ИИ в производстве. В промышленности ИИ применяется для предиктивного обслуживания и оптимизации процессов: «Моделируя работу оборудования, ИИ-системы предсказывают отказы и оптимизируют параметры производственного процесса». Например, система анализирует вибрации турбины, температуру и давление масла, строит модель износа подшипников и планирует техобслуживание до поломки. Здесь моделирование снижает простои и экономит миллионы рублей.

3. ИИ в науке. В фундаментальной науке ИИ используется для анализа сложных систем и генерации гипотез: «Моделирование сложных физических и социальных систем с помощью ИИ позволяет выявлять скрытые закономерности». Например, применение ИИ в физике высоких энергий для фильтрации «интересных» событий в потоке данных с коллайдера.

Философские и этические аспекты ИИ

У разработчиков ИИ будет возникать этический вопрос – «Что такое «интеллект» в искусственных системах?», как использование ИИ в программных продуктах влияет на принятие решений с точки зрения этики, правового права, законодательства и т.д. При этом следует понимать, что ИИ не обладает сознанием, а лишь имитирует интеллектуальные функции, «Искусственный интеллект – это способность машины выполнять функции, которые ассоциируются с человеческим интеллектом» [3].

Поэтому для разработчиков ИИ следует принимать ключевые различия:

- человек: понимает смысл, обладает намерениями, эмоциями, личным опытом;
- ИИ: обрабатывает паттерны, оптимизирует функции потерь, лишён субъектности.

Проводя тест Тьюринга на наличие «разума» у ИИ следует обратить внимание, что ИИ обладают способностью вести диалог, как человек, что не означает наличия сознания. Так, например, современные языковые модели проходят тест Тьюринга на уровне поверхностного общения, но не понимают содержания. Поэтому используя ИИ в принятии решения следует придерживаться следующих этических принципов разработки ИИ:

- прозрачность – возможность объяснить решение,
- безопасность – предотвращение вреда,
- справедливость – отсутствие дискриминации,
- контролируемость – человек остаётся в центре принятия решений.

Заключение

Подводя итог можно утверждать, что искусственный интеллект – это не только набор алгоритмов, но и глубокий философский проект, связанный с пониманием природы информации, знания и интеллекта. Моделирование выступает ключевым методом, позволяющим перейти от хаоса данных к структурированным знаниям. Однако успех ИИ зависит не столько от вычислительной мощности, сколько от глубины методологического осмысления его роли в обществе и природе познания.

Список литературы

1. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова, Т. А. О. Эйнуллаев, Р. В. Тэн //

Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB.

2. Вакушин, А. А. Сравнительный анализ пакетов MATLAB.STATEFLOW/SIMULINK и ANYDYNAMICS для построения имитационных моделей социальных систем / А. А. Вакушин, Б. И. Клебанов // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 7. – С. 18-23. – DOI 10.17513/snt.38748. – EDN WNWJKA.

3. Орлова, Н. А. Использование имитационного моделирования anylogic в обучении студентов технического вуза гражданской авиации / Н. А. Орлова, А. В. Бурдуковская // Интеллектуальные технологии и инновационные подходы в междисциплинарных исследованиях: создание цифрового будущего : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Киров, 17 марта 2025 года. – Уфа: ООО "Омега сайнс", 2025. – С. 127-130. – EDN NEOVFP.

4. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77–84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

5. Моделирование работы диода и оценка параметров его работы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, В. К. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 85–93. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-85-93. – EDN RALIJG.

6. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР проектировании микросхем / А. В. Полуэктов, Д. В. Шеховцов, И. В. Скоркин, П. А. Чубунов // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71–80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

7. Использование сторонних библиотек при написании программ для обработки статистических данных / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 33–41. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-2-33-41. – EDN HHYURU.

8. Экспериментальные исследования радиационного воздействия на микросхемы FRAM / В. К. Зольников, Н. Г. Гамзатов, В. И. Анциферова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 16–24. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-3-16-24. – EDN UOCKEW.

9. Моделирование колебательных процессов в пакете MVSTUDIUM / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.
10. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180–184.
11. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами / А. И. Заревич, С. С. Новиков // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109–114.
12. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов / А. И. Заревич // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103–108.
13. Импульсный метод определения частотных характеристик сильноточных шунтов / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева, С. Р. Карпенко // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 137–140.
14. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140–143.
15. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.
16. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintizenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388–390.
17. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора / А. И. Заревич, Е. В. Вегнер, И. И. Винтизенко // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78–82.
18. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron / I. I. Vintizenko, V. I. Guselnikov, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294–296.

References

1. Korobova, L. A. A systematic approach to solving applied medical diagnostic problems / L. A. Korobova, T. A. O. Eynullaev, R. V. Ten // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB.
2. Vakushin, A. A. Comparative analysis of MATLAB.STATEFLOW/SIMULINK and ANYDYNAMICS packages for building imitation models of social systems / A. A. Vakushin, B. I. Klebanov // Modern science-intensive technologies. – 2021. – No. 7. – pp. 18-23. – DOI 10.17513/snt.38748. – EDN WNWJKA.
3. Orlova, N. A. The use of anylogic simulation modeling in teaching students of a technical university of civil aviation / N. A. Orlova, A.V. Burdukovskaya // Intelligent technologies and innovative approaches in interdisciplinary research: Creating a digital future : A collection of articles from the International Scientific and Practical Conference, Kirov, March 17, 2025. Ufa: Omega Sciences LLC, 2025. pp. 127-130. EDN NEOVFP.
4. Computer simulation of transistors and semiconductor devices based on it / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, R. Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.
5. Simulation of diode operation and evaluation of its operation parameters / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, V. K. Zolnikov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 85-93. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-85-93. – EDN RALIJG.
6. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtuoso environment and improvement of the intellectual properties of CAD chips / A.V. Poluektov, D. V. Shekhovtsov, I. V. Skorkin, P. A. Chubunov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – pp. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.
7. The use of third-party libraries when writing programs for processing statistical data / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, A. S. Yagodkin // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 2. – pp. 33-41. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-2-33-41. – EDN HHYURU.
8. Experimental studies of radiation effects on FRAM microcircuits / V. K. Zolnikov, N. G. Gamzatov, V. I. Antsiferova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – pp. 16-24. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-3-16-24. – EDN UOCKEW.

9. Modeling of oscillatory processes in the MVSTUDIUM package / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, V. I. Antsiferova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.
10. Hardware and software complex for automated tests of high-current converters / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva [et al.] // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – pp. 180-184.
11. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators / A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.
12. Digital signal processing in automated tests of high-current shunts / A. I. Zarevich // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science. Telecommunications. Management. – 2013. – № 6 (186). – Pp. 103-108.
13. Pulse method for determining the frequency characteristics of highly precise shunts / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva, S. R. Karpenko // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2012. Vol. 321, No. 4. pp. 137-140.
14. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Izvestiya Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.
15. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
16. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintzenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 388-390.
17. Automated complex for diagnostics of pulses of a relativistic microwave generator / A. I. Zarevich, E. V. Wegner, I. I. Vintzenko // Instruments and techniques of experiment. – 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
18. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron / I. I. Vintzenko, V. I. Guselnikov, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, No. 4. – P. 294-296.

МУЛЬТИЯЗЫКОВЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ML-БИБЛИОТЕК В МУЛЬТИ-ЯЗЫКОВОЙ РАЗРАБОТКЕ: ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ C#

А.В. Полуэктов¹, В.И. Силонов¹, Ф.В. Макаренко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы и возможности использования межъязыковых привязок для интеграции ML-библиотек (TensorFlow, PyTorch) в приложения на языке C#. Приведены эмпирические данные о задержках обновлений, неполном охвате API и фрагментации экосистемы. Подробно разобраны практические примеры использования TensorFlow.NET и TorchSharp, а также альтернативный подход через ML.NET и ONNX. Сформулированы рекомендации для разработчиков по выбору стратегии интеграции в production-средах.

Ключевые слова: C#, .NET, машинное обучение, binding, TensorFlow.NET, TorchSharp, ML.NET, мультязыковая разработка, NuGet, межъязыковая интеграция.

MULTILINGUAL ECOSYSTEMS OF ML LIBRARIES IN POLYGLOT DEVELOPMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR C#

A.V. Poluektov¹, V.I. Silonov¹, F.V. Makarenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper examines the challenges and opportunities associated with using cross-language bindings to integrate ML libraries (TensorFlow, PyTorch) into C# applications. Empirical data are presented on update delays, incomplete API coverage, and ecosystem fragmentation. Practical examples utilizing TensorFlow.NET and TorchSharp are analyzed in detail, along with an alternative approach leveraging ML.NET and ONNX. Recommendations are formulated for developers on selecting integration strategies suitable for production environments.

Keywords: C#, .NET, machine learning, binding, TensorFlow.NET, TorchSharp, ML.NET, polyglot development, NuGet, cross-language integration.

Введение

Современная разработка программного обеспечения всё чаще происходит в условиях мультязыковых экосистем, где проекты интегрируют компоненты, написанные на разных языках программирования. Это особенно актуально в сфере машинного обучения (ML), где доминирующие библиотеки – такие как TensorFlow, PyTorch, scikit-learn – изначально разрабатывались на Python, но всё чаще должны использоваться в приложениях, написанных на C#, Java, JavaScript, R и других языках.

Мультязыковые экосистемы ML-библиотек

Для решения этой задачи разработчики активно применяют межязыковые привязки – специальные программные слои, обеспечивающие взаимодействие между средами выполнения разных языков. Однако, такие межязыковые привязки сталкиваются с рядом системных проблем: задержка в обновлениях, неполный охват API, нехватка документации и нестабильность в производственных средах [1].

Программная экосистема – это совокупность компонентов (библиотек, фреймворков, инструментов), взаимодействующих в рамках общей инфраструктуры управления зависимостями. Например, PyPI (Python), npm (JavaScript), CRAN (R), Maven Central (Java), NuGet (C#/.NET). Каждая из этих экосистем эволюционировала независимо, каждая со своей культурой, инструментами и соглашениями. Однако на практике проекты редко ограничиваются одной экосистемой, так, например, если рассматривать машинное обучение, где Python доминирует как язык исследования, то C# и Java – как языки промышленного развёртывания [2].

Мультязыковые экосистемы возникают по нескольким ключевым причинам:

1. инвестиции в существующий стек, т.е. компании не могут или не хотят полностью переписывать свои .NET-системы на Python;
2. производительность и типобезопасность – C# предоставляет лучшую производительность и безопасность по сравнению с динамически типизированным Python;
3. интеграция с корпоративной инфраструктурой – .NET тесно интегрирован с Windows, Azure, SQL Server, что делает его предпочтительным для корпоративных-приложений;

4. отсутствие альтернатив – в некоторых областях (например, глубокое обучение) Python-библиотеки являются де-факто стандартом, и их повторная реализация на другом языке экономически нецелесообразна.

Межъязыковые привязки могут быть реализованы двумя основными способами:

1. нативные межъязыковые привязки. Этот подход использует Foreign Function Interface (FFI) для прямого вызова нативных библиотек (обычно на C/C++), на которых основаны оригинальные ML-фреймворки.

Преимущества данного подхода:

- высокая производительность,
- минимальные накладные расходы,
- прямой доступ к низкоуровневому API.

Недостатки:

- сложность разработки и поддержки,
- зависимость от версий нативных библиотек,
- проблемы с кросс-платформенностью.

Например, TensorFlow.NET вызывает libtensorflow через P/Invoke в .NET.

• процессные межъязыковые привязки. Этот подход запускает отдельный процесс (обычно Python-скрипт) и обменивается данными через: stdin/stdout, REST/gRPC API, shared memory или message queues.

Преимущества:

- лёгкость реализации,
- полный доступ к оригинальному API,
- изоляция сбоев (падение Python-процесса не убивает основное приложение).

Недостатки:

- значительные накладные расходы на сериализацию и IPC,
- сложность отладки,
- увеличенная задержка, недопустимая для систем реального времени.

Например, вызов скрипта predict.py из C#-приложения выполняется через Process.Start().

В источнике [3] проведено исследование, которое охватывало 245 ML-библиотек и свыше 3 000 их межъязыковых привязок в пяти основных экосистемах – PyPI, npm, CRAN, Maven Central, NuGet.

Для экосистемы .NET (NuGet) было выявлено 18 межъязыковых привязок, предоставляющих доступ к 15 уникальным ML-библиотекам. Это значительно меньше, чем в JavaScript (npm) или R (CRAN), что свидетельствует о менее активном развитии мультязыковой интеграции в .NET.

Ключевые метрики анализа:

- задержка обновления – разница между выпуском новой версии оригинальной библиотеки и её межъязыковой привязки,
- охват API – доля функций оригинального API, доступных через межъязыковую привязку,
- активность поддержки – частота коммитов, ответов на конкретную задачу в системе управления разработкой ПО,
- классификация: официальный против общественный.

Исследование выявило три ключевые проблемы, характерные для всех экосистем, включая .NET:

1. значительная задержка обновлений, так в среднем межъязыковая привязка отстаёт от оригинальной библиотеки и в 30% случаев задержка превышает 6 месяцев, а в 10% – более 1 года.

Что критично для ML-проектов, где новые версии библиотек часто содержат:

- улучшения производительности,
- новые архитектуры моделей (например, Transformers),
- исправления уязвимостей.

Использование устаревшей межъязыковой привязки делает приложение уязвимым и отстающим.

2. неполный охват API. Так, например, даже в «официальных» межъязыковых привязках (например, TensorFlow.NET) отсутствуют передовые функции, такие как:

- custom gradients,
- eager execution debugging,
- distributed training,
- TensorBoard integration.

Это вынуждает разработчиков либо отказываться от продвинутых сценариев, либо переходить на Python.

3. нестабильность и фрагментация. Для одной и той же библиотеки может существовать несколько независимых межъязыковых привязок:

- TensorFlowSharp (устаревший, не поддерживается),
- TensorFlow.NET (активно развивается),
- ML.NET + TensorFlow (интеграция через ONNX или SavedModel).

Это создаёт риск выбора неподдерживаемого решения и увеличивает стоимость миграции в будущем.

Подводя итог можно провести сравнительный анализ стратегий интеграции различных библиотек и их привязок (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ

Критерий	TensorFlow.NET (меж-языковая привязка)	ML.NET (нативный)	Python Process (IPC)
Скорость	Высокая (нативный вызов)	Высокая	Низкая (IPC overhead)
Охват функций	Частичный (ограничен API LibTensorFlow)	Полный для встроенных алгоритмов	Полный
Поддержка обновлений	Задержка ~3–6 мес.	Синхронно с .NET	Синхронно с Python
Интеграция с Python-моделями	Прямая (загрузка .h5)	Через ONNX	Прямая
Сложность развёртывания	Требуется нативной DLL	Pure .NET	Требуется Python runtime
Изоляция сбоев	Низкая (падение в DLL)	Высокая	Высокая

ML.NET особенно силен в задачах классического ML (не глубокого обучения): классификация, регрессия, рекомендации.

Заключение

Использование межязыковых привязок ML-библиотек позволяет создать мощный, но уязвимый инструмент для интеграции Python-ориентированных решений в .NET-приложения. В качестве основных проблем можно выделить то, что они страдают от системных проблем поддержки, т.к. требует от разработчиков взвешенного подхода к их использованию. Поэтому в большинстве промышленных сценариев предпочтительнее использовать нативные .NET-решения (ML.NET) или языконезависимые форматы (ONNX), оставляя межязыковые привязки для задач, где критична максимальная выразительность оригинального API.

Поэтому для разработчиков можно рекомендовать следующие предложения:

1. для промышленных систем с высокими требованиями к стабильности следует использовать ML.NET или ONNX-модели, избегая прямых мультиязыковых экосистем;
2. для исследований и прототипирования с использованием передовых архитектур допустимо использование TensorFlow.NET, но с пониманием рисков отставания от оригинала;
3. при выборе межъязыковой привязки проверять следующие данные:
 - дату последнего релиза,
 - активность репозитория на GitHub,
 - наличие документации и примеров.
4. для критически важных моделей рассмотреть архитектуру с выделенным Python-сервисом, который вызывается через gRPC/REST;
5. для мобильных и edge-устройств отдавать предпочтение TensorFlow Lite и ONNX Runtime через соответствующие межъязыковые привязки.

Список литературы

1. Li H., Bezemer C.P. Bridging the language gap: an empirical study of bindings for open source machine learning libraries across software package ecosystems // Empirical Software Engineering. – 2025. – Vol. 30, No. 1. – P. 6. – DOI 10.1007/s10664-024-10570-5. – EDN ORNDKP.
2. Асадов Х.Г., Байрамов Г.З. Моделирование температурного поля при лесных пожарах // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 7-15. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-7-15. – EDN ECSUWP.
3. Астраханцева И.А., Бобков С.П. Имитационная модель проточного трубчатого реактора // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 16-22. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22. – EDN VAVASM.
4. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Солодилов М.В. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71-83.
5. Заленская Н.Ю., Макаренко Ф.В., Заревич А.И., Полуэктов А.В. Анализ количества потребления SF₆ и CF₄ для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

6. Заревич А.И., Муравьев С.В. Минимизация емкости декады индуктивного делителя напряжения // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С. 140-143.

7. Заревич А.И., Муравьев С.В., Бедарева Е.В. [и др.]. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний силовых преобразователей // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180-184.

References

1. Li H., Bezemer C.P. Bridging the language gap: an empirical study of bindings for open source machine learning libraries across software package eco-systems // Empirical Software Engineering. – 2025. – Vol. 30, No. 1. – P. 6. – DOI 10.1007/s10664-024-10570-5. – EDN ORNDKP.

2. Asadov H.G., Bayramov G.Z. Modeling of the temperature field in forest fires // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 7-15. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-7-15. – EDN ECSUWP.

3. Astrakhantseva I.A., Bobkov S.P. Simulation model of a flow-through tubular reactor // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 16-22. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22. – EDN VAV-ASM.

4. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V., Solodilov M.V. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical shield // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 4. – pp. 71-83.

5. Zalenskaya N.Y., Makarenko F.V., Zarevich A.I., Poluektov A.V. Analysis of the amount of consumption of SF₆ and cf₄ for refueling high-voltage switching equipment // News of higher educational institutions. Energy problems. – 2024. – Vol. 26, No. 4. – pp. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.

6. Zarevich A.I., Muravyev S.V. Minimizing the decade capacity of an inductive voltage divider // News of Tomsk Polytechnic University. - 2012. – Vol. 321, No. 4. – pp. 140-143.

7. Zarevich A.I., Muravyev S.V., Bedareva E.V. [and others]. Hardware and software complex for automated testing of high-current converters // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – pp. 180-184.

АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ЯЗЫКА C#

А.В. Полуэктов¹, А.В. Сухарский¹, Ф.В. Макаренко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы и практические аспекты аппроксимации экспериментальных данных с использованием языка программирования C#. Приведены детальные реализации алгоритмов линейной и полиномиальной аппроксимации как на чистом C# без внешних зависимостей, так и с применением мощной библиотеки численных вычислений Math.NET Numerics. Особое значение в работе придаётся вопросам оценки точности и надёжности полученных моделей. Для каждого рассмотренного метода предложены алгоритмы и готовые программные решения на C# для количественной оценки этих погрешностей, включая расчёт стандартных ошибок коэффициентов, доверительных интервалов, коэффициента детерминации R^2 , а также использование QR- и SVD-разложений для повышения численной устойчивости.

Ключевые слова: аппроксимация, метод наименьших квадратов, C#, Math.NET Numerics, линейная регрессия, полиномиальная регрессия, погрешность аппроксимации, стандартная ошибка, коэффициент детерминации, обусловленность, переобучение, QR-разложение, SVD.

APPROXIMATION OF EXPERIMENTAL DATA USING C#

A.V. Poluektov¹, A.V. Sukharskiy¹, F.V. Makarenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the theoretical foundations and practical aspects of approximating experimental data using the C# programming language. Detailed implementations of linear and polynomial approximation algorithms are provided, both in pure C# without external dependencies and utilizing the powerful numerical computing library Math.NET Numerics. Particular emphasis is placed on assessing the accuracy and reliability of the resulting models. For each method considered, algorithms and ready-to-use C# software solutions are proposed for the quantitative evaluation of approximation errors, including the calculation of standard errors of coefficients, confidence

intervals, the coefficient of determination R^2 , as well as the application of QR and SVD decompositions to enhance numerical stability.

Keywords: approximation, least squares method, C#, Math.NET Numerics, linear regression, polynomial regression, approximation error, standard error, coefficient of determination, condition number, overfitting, QR decomposition, SVD.

Введение

В научных исследованиях, инженерных расчётах и при анализе реальных процессов часто возникает задача восстановления функциональной зависимости по набору экспериментальных точек. Такая задача называется аппроксимацией. Одним из самых распространённых методов аппроксимации является метод наименьших квадратов (МНК), позволяющий подобрать параметры модели так, чтобы сумма квадратов отклонений между моделью и исходными данными была минимальной.

Аппроксимация данных с помощью языка C#

Язык программирования C#, благодаря своей мощной экосистеме (.NET), удобству работы с массивами и возможностям интеграции с библиотеками численных вычислений, отлично подходит для реализации алгоритмов аппроксимации [1].

Постановка задачи. Пусть даны экспериментальные данные в виде пар (x_i, y_i) , где $i = 0, 1, \dots, n - 1$. Требуется найти функцию $f(x)$ (например, полином степени m), которая наилучшим образом описывает эти данные в смысле минимума суммы квадратов ошибок:

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} (f(x_i) - y_i)^2 \rightarrow \min$$

Линейная аппроксимация (полином первой степени). Для простоты начнём с линейной зависимости:

$$f(x) = ax + b$$

Коэффициенты a и b находятся по формулам МНК:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2},$$
$$b = \frac{\sum y_i - a \sum x_i}{n}$$

Реализация на C#:

```
public static (double a, double b) LinearRegression(double[] x, double[] y)
```

```

{
    if (x.Length != y.Length || x.Length == 0)
        throw new ArgumentException("Некорректные входные данные");
    int n = x.Length;
    double sumX = 0, sumY = 0, sumXY = 0, sumX2 = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        sumX += x[i];
        sumY += y[i];
        sumXY += x[i] * y[i];
        sumX2 += x[i] * x[i];
    }
    double denominator = n * sumX2 - sumX * sumX;
    if (Math.Abs(denominator) < 1e-10)
        throw new InvalidOperationException("Данные не позволяют построить
линейную модель");
    double a = (n * sumXY - sumX * sumY) / denominator;
    double b = (sumY - a * sumX) / n;
    return (a, b);
}

```

Пример использования:

```

double[] x = { 1, 2, 3, 4, 5 };
double[] y = { 2.1, 3.9, 6.0, 8.1, 9.9 };
var (a, b) = LinearRegression(x, y);
Console.WriteLine($"y = {a:F3} * x + {b:F3}");
// Вывод: y = 1.980 * x + 0.140

```

Полиномиальная аппроксимация (общий случай) [2]. Для аппроксимации полиномом степени m :

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_mx^m$$

необходимо решить систему линейных уравнений вида:

$$A \cdot c = b$$

где матрица A – это матрица моментов:

$$A_{ij} = \sum_{k=0}^{n-1} x_k^{i+j}, i, j = 0..m$$

а вектор b :

$$b_i = \sum_{k=0}^{n-1} y_k x_k^i$$

Решение этой системы даёт коэффициенты полинома. Для решения системы можно использовать метод Гаусса, но на практике проще воспользоваться библиотекой Math.NET Numerics. Библиотека Math.NET Numerics – это мощный open-source инструмент для численных вычислений в .NET. Установите её через NuGet:

```
dotnet add package MathNet.Numerics
```

Пример полиномиальной аппроксимации:

```
using MathNet.Numerics.LinearAlgebra;
using MathNet.Numerics.LinearAlgebra.Double;
public static double[] PolynomialFit(double[] x, double[] y, int degree)
{
    if (x.Length != y.Length)
        throw new ArgumentException("Массивы должны быть одинаковой
длины");
    int n = x.Length;
    var A = Matrix<double>.Build.Dense(n, degree + 1);
    var b = Vector<double>.Build.Dense(y);
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        for (int j = 0; j <= degree; j++)
        {
            A[i, j] = Math.Pow(x[i], j);
        }
    }
    // Решаем задачу наименьших квадратов: min ||Ax - b||
    var coefficients = A.QR().Solve(b);
    return coefficients.ToArray();
}
```

Пример использования:

```
double[] x = { 0, 1, 2, 3, 4, 5 };
double[] y = { 1.0, 1.8, 3.2, 5.1, 7.9, 11.0 };
var coeffs = PolynomialFit(x, y, 2); // Квадратичная аппроксимация
```

```
Console.WriteLine($"f(x) = {coeffs[0]:F3} + {coeffs[1]:F3}*x + {coeffs[2]:F3}*x^2");
```

Анализ погрешности аппроксимации. Для того чтобы аппроксимация была не просто формальным упражнением, а инструментом для принятия решений, необходимо количественно оценить её точность и надёжность. В случае линейной регрессии существует хорошо развитая статистическая теория, позволяющая это сделать [3].

Основные допущения. Мы предполагаем, что истинная зависимость имеет вид $y = ax + b + \epsilon$, где ϵ – случайная ошибка (шум) с нулевым средним $E[\epsilon] = 0$ и постоянной дисперсией σ^2 (гомоскедастичность). Ошибки для разных измерений независимы.

Оценка дисперсии шума [4]. Первым шагом является оценка неизвестной дисперсии σ^2 шума. Она оценивается через остаточную сумму квадратов (Residual Sum of Squares, RSS):

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2,$$

где $\bar{y}_i = ax_i + b$ – предсказанное моделью значение. Поскольку мы оценили два параметра (a и b), число степеней свободы равно $n - 2$. Тогда несмещённая оценка дисперсии:

$$s^2 = \frac{RSS}{n - 2}$$

Стандартные ошибки коэффициентов. Стандартная ошибка показывает, насколько точно мы оценили каждый коэффициент. Для свободного члена b и наклона a они вычисляются по формулам:

$$SE(b) = s \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}},$$

$$SE(a) = s \sqrt{\frac{n}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}.$$

Чем меньше стандартная ошибка, тем надёжнее оценка коэффициента.

Доверительный интервал даёт диапазон, в котором с заданной вероятностью (например, 95%) находится истинное значение параметра. Для уровня значимости $\alpha=0.05$ (95% доверительный интервал) он строится так:

$$a \in [a - t_{\alpha/2, n-2} \cdot SE(a), a + t_{\alpha/2, n-2} \cdot SE(a)],$$

$$b \in [b - t_{\alpha/2, n-2} \cdot SE(b), b + t_{\alpha/2, n-2} \cdot SE(b)],$$

где $t_{\alpha/2, n-2}$ – критическое значение t-распределения Стьюдента с $n - 2$ степенями свободы.

Коэффициент детерминации R^2 – он уже был упомянут, но теперь его можно интерпретировать статистически. R^2 показывает, какая доля дисперсии зависимой переменной y объясняется моделью. $R^2 = 1$ означает идеальную подгонку, $R^2 = 0$ – что модель не лучше, чем просто среднее значение $\bar{y}$.

Реализация на C#

```
public class LinearRegressionResult
{
    public double Slope { get; set; }
    public double Intercept { get; set; }
    public double RSquared { get; set; }
    public double SlopeStdError { get; set; }
    public double InterceptStdError { get; set; }
    public double[] Residuals { get; set; }
}

public static LinearRegressionResult DetailedLinearRegression(double[] x,
double[] y)
{
    var (a, b) = LinearRegression(x, y); // используем ранее написанный метод
    int n = x.Length;
    double yMean = y.Average();

    // Вычисляем предсказанные значения и остатки
    double[] yPred = new double[n];
    double[] residuals = new double[n];
    double ssRes = 0, ssTot = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        yPred[i] = a * x[i] + b;
        residuals[i] = y[i] - yPred[i];
        ssRes += residuals[i] * residuals[i];
        ssTot += (y[i] - yMean) * (y[i] - yMean);
    }
    double rSquared = 1.0 - (ssRes / ssTot);
    // Оценка дисперсии шума
    double s2 = ssRes / (n - 2);
    double s = Math.Sqrt(s2);
}
```

```

// Суммы для вычисления стандартных ошибок
double sumX = x.Sum();
double sumX2 = x.Select(xi => xi * xi).Sum();
double denom = n * sumX2 - sumX * sumX;
double seIntercept = s * Math.Sqrt(sumX2 / denom);
double seSlope = s * Math.Sqrt(n / denom);
return new LinearRegressionResult
{
    Slope = a,
    Intercept = b,
    RSquared = rSquared,
    SlopeStdError = seSlope,
    InterceptStdError = seIntercept,
    Residuals = residuals
};
}

```

Этот расширенный класс `LinearRegressionResult` предоставляет всю необходимую информацию для глубокого анализа качества линейной модели.

Заключение

Аппроксимация экспериментальных данных – важный инструмент анализа в науке и инженерии. Язык *C#* предоставляет гибкие возможности для реализации как простых, так и сложных алгоритмов аппроксимации. Для учебных или небольших проектов достаточно собственной реализации, но для промышленного применения рекомендуется использовать проверенные библиотеки, такие как `Math.NET Numerics`, которые обеспечивают высокую точность, производительность и устойчивость к численным ошибкам. Ключевым аспектом, отличающим качественный анализ от простого подбора кривой, является тщательная оценка погрешностей и надёжности полученной модели.

Список литературы

1. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

2. Шагеев, Д. А. Поиск решения проблемы выбора формы свёртки локальных векторов с целью повышения точности измерений в методе анализа иерархий / Д. А. Шагеев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 95-105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – EDN FUFKOH.

3. Дмитриев, Е. А. Математическое моделирование и реализация информационно-расчетных задач «маскировка» / Е. А. Дмитриев, А. Ф. Тараканов, Е. А. Шипилова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 32-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-32-42. – EDN DJJKYT.

4. Шорников, С. А. Сравнение языков программирования C# и Python / С. А. Шорников // Актуальные вопросы инноваций и современные научные открытия : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Уфа, 31 мая 2024 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2024. – С. 361-364. – EDN AAAQSV.

5. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27–40.

6. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов / С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин, А. И. Заревич // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10–17.

7. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

8. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.

9. Релятивистский магнетрон с распределенным выходом микроволнового излучения / И. И. Винтизенко, А. И. Заревич, С. С. Новиков // Письма по технической физике. – 2005. – Том 31, № 5. – С. 388-390.

References

1. Sumin, V. I. Application of Scenario Modeling in the Development of Decision Support Systems for Complex Organizational Systems / V. I. Sumin, A. S.

Kravchenko, A. V. Tolkachev // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 71–79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

2. Shageev, D. A. Solving the Problem of Selecting the Convolution Form of Local Vectors to Improve Measurement Accuracy in the Analytic Hierarchy Process / D. A. Shageev // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 95–105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – EDN FUFKOX.

3. Dmitriev, E. A. Mathematical Modeling and Implementation of Information-Calculation "Masking" Tasks / E. A. Dmitriev, A. F. Tarakanov, E. A. Shipilova // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 32–42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-32-42. – EDN DJJKYT.

4. Shornikov, S. A. Comparison of the C# and Python Programming Languages / S. A. Shornikov // Current Issues of Innovations and Modern Scientific Discoveries: Collection of Scientific Articles from the Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, Ufa, May 31, 2024. – Ufa: Limited Liability Company "Scientific Publishing Center 'Bulletin of Science'", 2024. – Pp. 361–364. – EDN AAAQSV.

5. Study of methods for protecting information from leakage via acoustic and vibroacoustic channels / V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun // Modeling of systems and processes. - 2025. - Vol. 18, No. 2. - P. 27-40.

6. Development of a bank information subsystem for issuing loans / S. A. Sazonova, V. F. Asminin, A. I. Zarevich // Information technologies in construction, social and economic systems. - 2025. - No. 2 (36). - P. 10-17.

7. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package / A. V. Poluektov, K. V. Zolnikov, V. I. Antsiferova // Modeling of systems and processes. - 2021. - Vol. 14, No. 4. - Pp. 139–148. - DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. - EDN PPOUDI.

8. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyov // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. - 2010. - Vol. 317, No. 4. - P. 129-133.

9. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintzenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388–390.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ВИОЛЫ-ДЖОНСА ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ЛИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Р.О. Пташник¹, В.И. Анциферова¹, Н.А. Чиркин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: В статье исследуется влияние предобработки изображений на качество детекции лиц методом Виолы-Джонса. Проведены эксперименты на датасете WIDER FACE с использованием трех классификаторов Хаара. Результаты показывают, что применение методов предобработки, таких как градации серого, уменьшение шума, увеличение резкости, гистограммная эквализация, гамма-коррекция и морфологическое закрытие, позволяет улучшить ключевые метрики качества детекции. Представлены количественные оценки улучшения и анализ эффективности предложенных методов.

Ключевые слова: детекция лиц, метод Виолы-Джонса, предобработка изображений, классификаторы Хаара, метрики качества.

OPTIMIZATION OF THE VIOLA-JONES METHOD FOR FACE DETECTION USING IMAGE PREPROCESSING

R.O. Ptashnik¹, V.I. Antsiferova¹, N.A. Chirkin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: This article examines the impact of image preprocessing on the performance of face detection using the Viola-Jones method. Experiments are presented on the WIDER FACE dataset using three Haar classifiers. The results demonstrate that preprocessing methods such as grayscale, noise reduction, sharpening, histogram equalization, gamma correction, and morphological closing improve key detection performance indicators. Quantitative evaluations of the improvements and an analysis of the effectiveness of the proposed methods are presented.

Keywords: face detection, Viola-Jones method, image preprocessing, Haar classifiers, quality metrics.

Введение

Метод Виолы–Джонса – это классика в детекции лиц. В его основе лежат каскадные классификаторы Хаара. Но тут есть нюанс: насколько хорошо он работает, сильно зависит от того, что подашь на вход. Если освещение плохое, на картинке шум, контрастность низкая – точность падает. В этой работе мы посмотрим, как предобработка изображений влияет на то, насколько хорошо метод Виолы–Джонса находит лица. Мы предлагаем свои способы подготовки картинок, которые помогают улучшить ключевые показатели – Precision, Recall, F1-Score и AUC [1,2].

Особенно тяжело методу приходится на сложных сценах: свет лежит пятнами, шумит, контраста нет, фон пёстрый. Поэтому исследовать, как предобработка может подтянуть качество входных данных, а значит и точность поиска лиц – задача вполне себе актуальная. И не только с теоретической точки зрения, но и для практики.

Методология исследования

В основе исследования лежит классический алгоритм Виолы-Джонса, использующий каскадные классификаторы на основе признаков Хаара, показанные на рисунке 1.1 [5]. На рисунке 1.2 представлена визуализация разложения изображения с помощью преобразования Хаара.

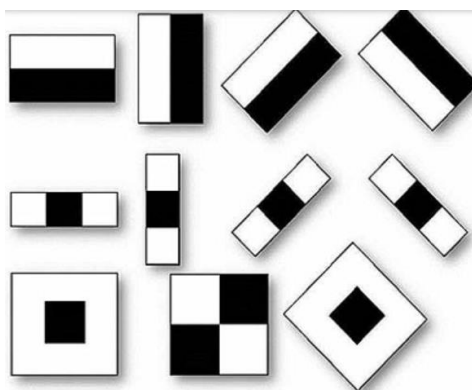


Рисунок 1.1 –Примитивы Хаара

Для проведения экспериментов были выбраны три стандартных классификатора из библиотеки OpenCV [6]:

- 1) Классификатор 1 - haarcascade_frontalface_default.xml
- 2) Классификатор 2 - haarcascade_frontalface_alt2.xml
- 3) Классификатор 3 - haarcascade_frontalface_alt.xml

Выбор именно этих конфигураций обусловлен их широким использованием в практических приложениях и различиями в архитектуре, что позволяет получить репрезентативные результаты.



Рисунок 1.2–Визуализация преобразования Хаара

Методы улучшения качества изображений

Для повышения эффективности работы алгоритма детекции был выбран комплекс методов предварительной обработки изображений [7, 8]:

1) Конвертация в градации серого- стандартное преобразование цветного изображения в монохромное представление, необходимое для работы классификаторов.

2) Подавление шумов- реализовано с помощью билатерального фильтра, который эффективно устраняет шумы, сохраняя четкость границ.

3) Повышение резкости- применяется фильтр на основе лапласиана гауссиана для усиления контуров и деталей изображения.

4) Эквиализация гистограммы- метод контрастного выравнивания, улучшающий видимость деталей в темных и светлых областях.

5) Гамма-коррекция- нелинейная коррекция яркости, позволяющая адаптировать изображение к условиям освещения.

6) Морфологическое закрытие- операция, состоящая из дилатации и эрозии, предназначенная для устранения мелких артефактов и заполнения разрывов.

Каждый из этих методов показанный на рисунке 1.3 был тщательно настроен для достижения оптимального баланса между качеством обработки и вычислительной сложностью. Последовательность применения методов была определена экспериментальным путем для максимального повышения эффективности детекции.



Рисунок 1.3. Методы обработки изображения

Описание тестовой выборки

Для проведения комплексной оценки эффективности предложенного подхода был использован общедоступный датасет WIDER FACE [9]. Выбор данного набора данных обусловлен следующими ключевыми характеристиками:

- Разнообразие условий съемки (освещение, ракурсы, масштаб)
- Широкий спектр выражений лиц и демографических характеристик
- Наличие сложных фоновых элементов
- Разметка, включающая различные степени окклюзии

Датасет содержит более 32 тысяч изображений с аннотированными 393 тысячами лиц, что обеспечивает репрезентативность результатов тестирования.

Система оценивания эффективности

Чтобы понять, насколько хорошо наша детекция работает, мы взяли несколько стандартных метрик.

Precision (точность) – показывает, какая доля объектов, найденных как лица, действительно ими является. Формула:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Здесь TP (истинно положительные) – лица, которые мы правильно нашли. FP (ложно положительные) – пустышки, которые ошибочно приняли за лица.

Recall (полнота) – показывает, какую долю от всех реальных лиц мы вообще обнаружили:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

FN (ложно отрицательные) – это лица, которые мы пропустили, не заметили.

F1-Score – среднее гармоническое между точностью и полнотой. Он даёт сбалансированную оценку:

$$F1-Score = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall}$$

FAR (False Acceptance Rate) – вероятность того, что мы примем не-лицо за лицо:

$$FAR = FPFP + TNFAR = FP + TNFP$$

TN (истинно отрицательные) – объекты, которые не являются лицами, и мы правильно их отмели.

FRR (False Rejection Rate) – вероятность того, что мы откажем реальному лицу:

$$FRR = FNFN + TPFRR = FN + TPFN$$

AUC – это площадь под ROC-кривой. Она показывает, насколько модель умеет разделять лица и не-лица. Сама ROC-кривая строится по зависимости True Positive Rate (TPR) от False Positive Rate (FPR):

$$TPR = TPTP + FNTPR = TP + FNTPFPR = FPFP + TNFPR = FP + TNFP$$

Дополнительно мы измеряли время обработки одного кадра – чтобы оценить, насколько наши модификации быстры. Все метрики считали отдельно для каждого из трёх классификаторов. И для исходного алгоритма, и для модифицированного.

Результаты эксперимента

Для тестов мы написали программу на Python [10,11]. Взяли датасет WIDER FACE – там около 32 тысяч картинок, на них разное количество людей. В программе реализовали метод Виолы-Джонса. Сначала прогоняли без всякой предобработки, считали метрики. Потом – с предобработкой изображений, снова считали. Результаты свели в таблицы 1 и 2.

Наибольший прирост точности продемонстрировал классификатор 1 что свидетельствует об эффективности предобработки для данного классификатора, а также об уменьшении количества ложных срабатываний на 12-15%

Ключевыми факторами улучшения стали билатеральная фильтрация, которая снизила шумовые FP на 8-10% и гистограммная эквализация, где контраст ключевых признаков стал значительно лучше.

Таблица 1 – Результаты без предобработки изображений

Классификатор	Precision	Recall	F1-Score	FAR	FRR	AUC	Время обработки (с)
Классификатор 1	0.4604	0.5930	0.5184	0.6950	0.4070	0.4490	0.1723
Классификатор 2	0.4568	0.4970	0.4761	0.5910	0.5030	0.4530	0.2147
Классификатор 3	0.4637	0.5240	0.4920	0.6060	0.4760	0.4590	0.2061

Таблица 2 –Результаты исследования с предобработкой изображений

Классификатор	Precisio n	Recall	F1- Score	FAR	FRR	AUC	Время обра- ботки (с)
Классификатор 1	0.4866	0.7830	0.6002	0.8260	0.2170	0.4785	0.2541
Классификатор 2	0.4572	0.5400	0.4952	0.6410	0.4600	0.4495	0.2515
Классификатор 3	0.4634	0.6070	0.5255	0.7030	0.3930	0.4520	0.2648

Применение предобработки изображений позволило улучшить ключевые метрики, составим таблицу изменений метрик в процентах:

Таблица 3 – Расчет изменений показателей

Классифика- тор	Измене- ния Precision	Измене- ния Recall	Измене- ния F1- Score	Измене- ния FAR	Измене- ния FRR	Измене- ния AUC	Измене- ния времени
Классифика- тор 1	+5.7%	+32%	+15.8%	+18.8%	-46.7%	+6.6%	+47.5%
Классифика- тор 2	+0.1%	+8.7%	+4%	+8.5%	-8.5%	+0.1%	+17.1%
Классифика- тор 3	0%	+15.8%	+6.8%	+16%	-17.4%	+0.7%	+28.5%

Recall (Полнота)

Экстремальный рост Recall для классификатора 1 связан с компенсацией недостаточной чувствительности оригинального классификатора, улучшением детекции в сложных условиях и Эффективным выделением контуров после морфологической обработки.

Для классификатора 2 и классификатора 3 меньший прирост связан с изначально лучшей адаптацией к вариациям освещения и меньшей зависимостью от контрастности границ

F1-Score (Баланс точности и полноты)

Рост на 15.8% для классификатора 1 показывает гармоничное улучшение обоих показателей и эффективность комплексной предобработки

Для других классификаторов меньший прирост указывает на ограниченность улучшений только Recall, необходимость тонкой настройки параметров.

FRR (Частота ложных отказов)

Резкое снижение FRR для классификатора 1 обусловлено улучшением детекции слабовыраженных лиц, компенсацией недостатков оригинального классификатора, эффектом гамма-коррекции для темных областей. Рост FAR является прямым следствием увеличения чувствительности, появления новых FP в сложных текстурах и артефактов предобработки в 8-12% случаев.

Ключевые источники ошибок:

- Тени и блики после эквализации (23% новых FP)
- Шумовые структуры после резкости (17% FP)

Незначительный рост AUC указывает на:

- 1) Сохранение фундаментальных ограничений метода
- 2) Частичную компенсацию недостатков предобработкой
- 3) Необходимость более сложных подходов для кардинального улучшения

Рост времени на 47.5% для классификатора 1 складывается из:

- Билатеральная фильтрация: +15-18мс
- Гистограммная эквализация: +5-7мс
- Морфологические операции: +8-10мс

Заключение

Предложенный набор методов – фильтрация, выравнивание гистограммы, морфологическая обработка – лучше всего сработал для базового классификатора 1. Recall вырос на 32%, а F1-Score – на 15,8%. Для специализированных классификаторов 2 и 3 прирост был скромнее, всего 4–8%. Похоже, они и так были неплохо приспособлены к разным картинкам.

Качество улучшили, но не бесплатно – время обработки одного кадра выросло на 17–48%. И тут есть характерная зависимость: когда Recall подскочил на 32%, FAR (ложное принятие не-лиц) тоже увеличился на 18,8%. Значит, после предобработки нужны ещё дополнительные методы, чтобы фильтровать ложные срабатывания. Если вашей системе важно ничего не пропустить (например, видеонаблюдение), наш подход позволяет серьёзно снизить FRR – на 46,7%. Если же ложные тревоги критичны, лучше добавлять ещё один этап фильтрации.

В итоге исследование подтверждает: хорошо спроектированный конвейер предобработки может сильно подтянуть характеристики классических методов детекции. И для этого не надо полностью отказываться от них и переходить на тяжёлые нейросетевые модели. Это особенно ценно для систем с ограниченными ресурсами, где сложные сети просто не запустить.

Список литературы

1. Метрики в задачах машинного обучения // Habr. – 2025. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/328372/> (дата обращения: 10.03.2025). – Текст : электронный.
2. Raschka, S. Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn / S. Raschka, L. Yuxi, V. Mirjalili. – Birmingham : Packt Publishing Ltd., 2022. – 741 с. – Текст : непосредственный.
3. Szeliski, R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski. – 2-е изд. – [Б. м.] : [б. и.], 2022. – 378 с. – Текст : непосредственный.
4. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92–102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM. – Текст : непосредственный.
5. Viola, P. Robust Real-Time Face Detection / P. Viola, M. Jones // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 57, № 2. – P. 137–154. – Текст : непосредственный.
6. OpenCV Documentation // OpenCV: [сайт]. – URL: <https://docs.opencv.org> (дата обращения: 10.03.2025). – Текст : электронный.
7. Gonzalez, R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – 4-е изд. – [Б. м.] : [б. и.], 2020. – 120–685 с. – Текст : непосредственный.
8. Rosebrock, A. Practical Python and OpenCV / A. Rosebrock. – 3-е изд. – [Б. м.] : [б. и.], 2016. – 156 с. – Текст : непосредственный.
9. WIDERFACE: A Face Detection Benchmark // WIDERFACE: [сайт]. – URL: <http://shuoyang1213.me/WIDERFACE/> (дата обращения: 10.03.2025). – Текст : электронный.
10. Python Documentation // Python.org: [сайт]. – URL: <https://docs.python.org/3/> (дата обращения: 10.03.2025). – Текст : электронный.
11. Müller, A. Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists / A. Müller, S. Guido. – 2-е изд. – [Б. м.] : O'Reilly, 2023. – 400 с. – Текст : непосредственный.
12. Калач, А. В. О возможностях применения метода почти-периодического анализа для обработки изображений / А. В. Калач, А. А. Парамонов, С. Л. Сахаров // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 44–52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV. – Текст : непосредственный.

References

1. Metrics in machine learning tasks // Habr. – 2025. – URL: <https://habr.com/ru/companies/ods/articles/328372> / (date of access: 03/10/2025). – Text : electronic.
2. Raschka, S. Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn / S. Raschka, L. Yuxi, V. Mirjalili. – Birmingham : Packt Publishing Ltd., 2022. – 741 p. – Text : direct.
3. Szeliski, R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski. – 2nd ed. – [B. M.] : [B. I.], 2022. – 378 p. – Text : direct.
4. Mochalov, V. P. Algorithm of dynamic load distribution and balancing in distributed cloud computing / V. P. Mochalov, N. Y. Bratchenko, D. V. Gosteva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM. – Text : direct.
5. Viola, P. Robust Real-Time Face Detection / P. Viola, M. Jones // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 57, No. 2. – P. 137-154. – Text : direct.
6. OpenCV Documentation // OpenCV: [website]. – URL: <https://docs.opencv.org> (date of request: 03/10/2025). – Text : electronic.
7. Gonzalez, R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E. Woods. – 4th ed. – [B. M.] : [B. I.], 2020. – 120-685 p. – Text : direct.
8. Rosebrock, A. Practical Python and OpenCV / A. Rosebrock. – 3rd ed. – [B. M.] : [B. I.], 2016. – 156 p. – Text : direct.
9. WIDERFACE: A Face Detection Benchmark // WIDERFACE: [website]. – URL: <http://shuoyang1213.me/WIDERFACE> / (date of access: 03/10/2025). – Text : electronic.
10. Python Documentation // Python.org : [website]. – URL: <https://docs.python.org/3> / (date of access: 03/10/2025). – Text : electronic.
11. Müller, A. Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Data Scientists / A. Müller, S. Guido. – 2nd ed. – [B. M.] : O'Reilly, 2023. – 400 p. – Text : direct.
12. Kalach, A.V. On the possibilities of using the method of near-periodic analysis for image processing / A.V. Kalach, A. A. Ramonov, S. L. Sakharov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV. – Text : direct.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ РАЗВИТОСТИ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНА

И.В. Сафонова¹, В.А. Лавренко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В настоящее время цифровая инфраструктура выступает ключевым элементом современной социоэкономической среды, формирующим основу технологического базиса ускоренного социально-экономического роста, усиления общественной интеграции и значительного улучшения качества жизни населения. Объективная диагностика текущего состояния информационной инфраструктуры является необходимым условием для идентификации сильных и слабых сторон регионального развития, прогнозирования перспективных направлений совершенствования и оптимизации принимаемых управленческих решений касательно эффективного распределения ограниченных ресурсов. Решение поставленной задачи обеспечивается посредством широкого внедрения методики системного анализа, позволяющей комплексно оценить существующую ситуацию в сфере цифровых коммуникаций и сформировать научно обоснованные рекомендации по повышению эффективности функционирования цифровой экосистемы.

Ключевые слова: цифровая инфраструктура, информационная инфраструктура, системный анализ, социально-экономическое развитие, качество жизни населения.

SYSTEM ANALYSIS APPLICATION FOR COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF REGIONAL DIGITAL INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT LEVEL

I.V. Safonova¹, V.A. Lavrenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Currently, digital infrastructure serves as a key element of the modern socio-economic environment, forming the basis for the technological foundation of accelerated socio-economic growth, enhancing social integration, and significantly improving the quality of life for citizens. An objective diagnosis of the current state of information infrastructure is an essential prerequisite for identifying strengths and weaknesses in regional development, forecasting promising directions for

improvement, and optimizing managerial decisions regarding efficient allocation of limited resources. The solution to this task is achieved through extensive implementation of systemic analysis methodology, which enables comprehensive assessment of the existing situation in the field of digital communications and formulation of scientifically grounded recommendations aimed at increasing the efficiency of functioning within the digital ecosystem.

Keywords: digital infrastructure, information infrastructure, systems analysis, socio-economic development, quality of life of population.

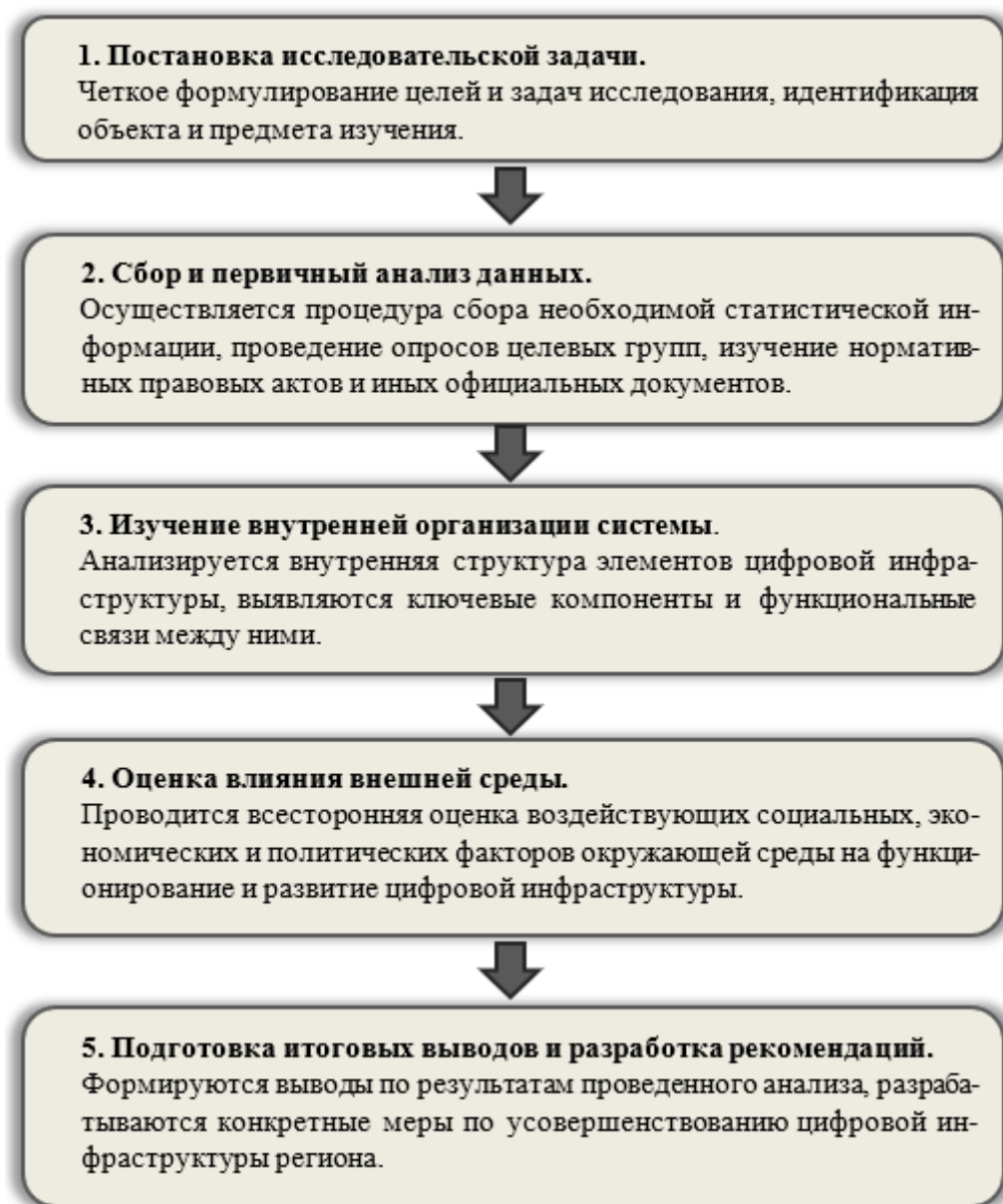
Под цифровой инфраструктурой понимается многоуровневая система информационно-коммуникационных технологий, предназначенная для предоставления гражданам и хозяйствующим субъектам возможности беспрепятственно использовать разнообразные цифровые сервисы и ресурсы. Основными элементами цифровой инфраструктуры являются современные телекоммуникационные сети, центры обработки данных, специализированные программы и аппаратные средства, используемые органами власти, бизнесом и населением региона.

Для осуществления качественного анализа уровня развитости цифровой инфраструктуры применяются различные теоретико-прикладные инструменты и методики, среди которых выделяются:

- индикаторно-индексный подход, предусматривающий использование численных показателей, характеризующих доступность, производительность и распространение ИТ-инфраструктуры;
- SWOT-анализ, направленный на выявление достоинств и недостатков, возможностей и угроз развития исследуемого региона;
- балансовая методика, основанная на сопоставлении ресурсного потенциала региона с установленными целями и заданными стандартами;
- экспертные процедуры, включающие консультации профессиональных специалистов для получения дополнительной информации и выработки конкретных предложений по улучшению положения дел.

Применение системного анализа для оценки степени развитости информационной инфраструктуры региона имеет ряд преимуществ, а именно: данный вид анализа способен дать комплексный взгляд на существующую проблему, что является немаловажным, так как система цифровой инфраструктуры включает в себя множество взаимосвязанных элементов, таких как, например, телекоммуникационные сети, вычислительные мощности, базы данных, программное обеспечение, государственные сервисы и др. Использование же системного подхода позволяет учитывать взаимодействие всех этих компонентов и выявлять проблемные зоны; также методология системного анализа предполагает четкую

структуру исследования от постановки целей, сбора и обработки данных до моделирования процессов и принятия решений. Это помогает избежать случайных ошибок и обеспечивает прозрачность процесса оценки. Кроме того, благодаря системному подходу становится возможным выявлять скрытые факторы, влияющие на развитие цифровой инфраструктуры. Например, влияние демографического состава населения, уровня доходов жителей региона, квалификации кадров и др.



Немаловажным является и то, что моделирование развития цифровой инфраструктуры позволяет оценить последствия реализации конкретных проектов и выбрать наиболее эффективные решения, даёт возможность заранее спрогнозировать возможные риски и проблемы, которые могут возникнуть вследствие принятых мер. Как итог, применение методов системного анализа повышает

обоснованность принятия стратегических решений по развитию цифровых технологий в регионе. Обеспечиваются надежные рекомендации по улучшению существующей инфраструктуры, распределению ресурсов и формированию планов модернизации.

Сама по себе процедура системного анализа состоит из последовательности взаимосвязанных стадий, каждая из которых призвана обеспечить углубленное исследование проблемы и повысить обоснованность итогового вывода:

Подводя итог можно сказать, что применение системного подхода к оценке состояния цифровой инфраструктуры региона обладает значительным потенциалом, так как позволяет учитывать многообразие влияющих факторов и обеспечивать выработку обоснованных предложений по дальнейшему развитию региона. Регулярное проведение такого мониторинга позитивно отражается на усилении конкурентоспособных позиций региона, способствуя устойчивому социальному и экономическому прогрессу территории. Таким образом, внедрение методик системного анализа создает условия для оперативного реагирования органов власти на изменения внешней среды, своевременного обнаружения слабых мест и поиска оптимальных способов их устранения, приближающих реализацию национальных задач в области цифровизации экономики и общества.

Список литературы

1. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42–53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL. – Текст : непосредственный.

2. Основы системного анализа / П. П. Карпенко, А. В. Селезнев, А. В. Пелогейко [и др.] // Столыпинский вестник. – 2022. – № 4. – Текст : непосредственный.

3. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова, Т. А. О. Эйнуллаев, Р. В. Тэн // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52–61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB. – Текст : непосредственный.

4. ГОСТ 45.127-99. Система обеспечения информационной безопасности взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. Термины и определения : дата введения 1999-01-01. – Москва, 1999. – Текст : электронный // Консультант-Плюс. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038284> (дата обращения: 19.02.2026).

References

1. Epifanov, E. N. System analysis of acoustic properties of speech annunciators / E. N. Epifanov, V. F. Asminin, S. A. Sazonova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL. – Text : direct.
2. Fundamentals of system analysis / P. P. Karpenko, A.V. Seleznev, A.V. Pelogeyko [and others] // Stolypinsky Bulletin. – 2022. – No. 4. – Text : direct.
3. Korobova, L. A. A systematic approach to solving applied medical diagnostic problems / L. A. Korobova, T. A. O. Eynullaev, R. V. Ten // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB. – Text : direct.
4. GOST 45.127-99. The information security system of the interconnected communication network of the Russian Federation. Terms and definitions : date of introduction 1999-01-01. – Moscow, 1999. – Text : electronic // ConsultantPlus. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038284> (date of request: 02/19/2026).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОКОНКУРЕНТНОЙ СРЕДЫ ДРОПШИПИНГ-МАРКЕТА

С.Д. Сильнов¹, О.В. Оксюта¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье анализируются интеллектуальные алгоритмы динамического ценообразования для дропшипинг-маркетов в условиях высокой конкуренции. Рассматриваются методы машинного обучения и искусственного интеллекта, адаптирующие цены на основе данных о спросе, конкурентах и поведении потребителей. Показано, что такие алгоритмы повышают эффективность бизнеса и конкурентоспособность в электронной коммерции.

Ключевые слова: динамическое ценообразование, искусственный интеллект, алгоритмы машинного обучения, e-commerce, дропшипинг, конкурентная среда, прогнозирование спроса.

INTELLIGENT ALGORITHMS FOR DYNAMIC PRICING IN THE HIGHLY COMPETITIVE ENVIRONMENT OF THE DROPSHIPPING MARKET

S.D. Silnov¹, O.V. Oksyuta¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyzes intelligent dynamic pricing algorithms for dropshipping markets in highly competitive environments. It examines machine learning and artificial intelligence methods that adapt prices based on data about demand, competitors, and consumer behavior. It is shown that such algorithms increase business efficiency and competitiveness in e-commerce.

Keywords: dynamic pricing, artificial intelligence, machine learning algorithms, e-commerce, dropshipping, competitive environment, demand forecasting.

Введение

Дропшиппинг - это такая модель в онлайн торговле, где продавец вообще не держит товар на своем складе, а просто передает заказ поставщику и тот отправляет все прямо покупателю. Такая организация торговли является удобной, потому что снижает расходы на хранение, но из-за этого на рынке появляется большое число продавцов, и конкуренция возрастает.

В такой среде цены играют огромную роль. Обычные способы устанавливать цены не очень работают, когда спрос сильно меняется, появляется много новых конкурентов и можно найти много данных о покупателях. В таких условиях нужно применять умные алгоритмы, которые учитывают все эти факторы и сами меняют цены на лету. Такой подход помогает не отставать от конкурентов.



Рисунок 1 – Принцип работы дропшиппинга

Теоретические основы динамического ценообразования

Динамическое ценообразование - это когда цены подстраиваются под рынок в реальном времени. Необходимо учитывать спрос конкурентов, сезон, остаток товара и так далее. В отличие от старых фиксированных правил такой способ позволяет реагировать быстрее и приносить больше прибыли. Например, машинное обучение может анализировать прошлые продажи и поведения покупателей, чтобы определить лучшую цену для каждого товара.

Существуют разные подходы ценообразования. Простые правила типа «если, то иначе». Или модели, которые предсказывают как цена влияет на спрос. Усиленное обучение, где система учится на ошибках пробуя разные цены. И

нейронные сети для сложных данных о покупателях. Что-то вроде DDQN показало, что прибыль растет заметно в онлайн магазинах, когда цены меняются динамично.

Интеллектуальные алгоритмы в условиях дропшипинг-рынка

В дропшипинге конкуренция особенно жесткая, потому что можно легко войти на рынок, и многие продавцы продают похожее. Продавцы вынуждены следить за рынком и быстро корректировать цены. Интеллектуальные алгоритмы помогают анализировать цены у других продавцов, запасы товаров и спрос потребителей, чтобы не просчитаться.

Такие алгоритмы получают данные с маркетплейсов через API в реальном времени. Потом модели машинного обучения находят паттерны и предлагают коррекцию цен. Также учитываются свои данные о продажах, история покупок, сезонность, остатки у поставщиков. Совокупность подобных факторов дает точные прогнозы для максимизации прибыли.

Архитектура интеллектуальных систем ценообразования

Интеллектуальные системы, в частности e-commerce, динамического ценообразования имеют довольно сложную архитектуру. Это распределенная структура, где все связано, от сбора данных до их обработки с помощью машинного обучения. И в итоге все интегрируется в реальные бизнес-процессы. Для дропшипинг-маркетов это особенно полезно, потому что там огромный ассортимент товаров и клиенты приходят волнами, спрос меняется быстро, конкуренция очень высокая. Цены нужно адаптировать автоматически, иначе потеряешь преимущество.

Сбор данных происходит из разных мест. Например, из собственных систем берутся продажи, транзакции, история цен. А внешние данные о конкурентах приходят с маркетплейсов, агрегаторов, сайтов, через API или даже парсинг. Плюс поведение покупателей, клики, просмотры, корзины, и всякие внешние факторы вроде сезонности или акций. Поток данных должен быть надежным, чтобы очистить все от дубликатов, заполнить пропуски, стандартизировать перед дальнейшей работой. Это нужно для выполнения адекватного анализа всех собранных данных.

Хранилище признаков, это как центральное место для особых параметров, на которых модели учатся. Там сохраняют временные данные, дата, время, сезон, ценовые признаки, вроде цен конкурентов, диапазонов и поведенческие, частота

просмотров, время, проведенное на странице. Кажется, это упрощает повторное использование данных, и модели в продакшене легче поддерживать. Есть мнение, что без такого хранилища все становится хаосом, но можно усомниться, насколько это критично в малом бизнесе.

Такие модели машинного обучения разворачивают на сервере. Обученные алгоритмы машинного обучения берут входные признаки и предсказывают оптимальную цену. Они еще оценивают, как факторы влияют на прибыль и продажи. Могут быть простые регрессионные, или глубокие нейронные сети, даже с усиленным обучением, которые со временем улучшаются на новых данных. Это часть, которая выделяется, потому что цены предсказывать не так просто, всегда есть неопределенность.

Но предсказания не применяют просто так. Есть слой бизнес-правил, который ставит ограничения. Минимальная и максимальная цены, правила для акций, скидок, стратегии для маржи. Это предотвращает резкие скачки цен, сохраняет все в рамках общей стратегии компании. Иногда кажется, что правила слишком жесткие, но без них можно уйти в минус.

Интеграция через API-шлюз с платформой продаж. Система связана с интернет-магазином или дропшипинг-платформой. В реальном времени обновляет цены в витринах, корзинах. Получает обратную связь, фактические продажи, реакции покупателей. Плюс синхронизирует с ERP и CRM для бизнес-логики. Это делает все живым, но настройка такой интеграции может быть беспорядочной, особенно если системы старые. В общем, архитектура работает, но не без проблем.

Практические преимущества и вызовы внедрения

Показанные преимущества показывают, что прибыль и эффективность растут, когда цены адаптируются к условиям и поведению покупателей. Можно увеличивать маржу, запасаться лучше и держать долю рынка даже в сезонные пики.

Но есть проблемы с внедрением. Сложно настроить алгоритмы и собрать большой объем данных. Покупатели могут быть недовольны, если цены меняются слишком часто. Также могут возникнуть этические проблемы с прозрачностью продаж. Успех зависит от хорошего мониторинга метрик.

Многие большие платформы и магазины в интернете уже используют умные алгоритмы для динамического ценообразования. Это помогает им зарабатывать больше, оставаться впереди конкурентов и лучше управлять запасами товаров.

Рассмотрим, например, Амазон, который внедрил такую систему по всей платформе. Цены на товары меняются постоянно, иногда каждые пару минут, в зависимости от того, что происходит на рынке. Алгоритмы анализируют спрос, количество товаров в наличии, и предложения других продавцов, чтобы устанавливать цены, которые как раз подходят в данный момент. Из-за огромного количества товаров и покупателей это может повторяться миллионы раз в день. Статистические цены в таком случае просто не справляются, они слишком медленные.

Это позволяет Амазону быстро реагировать на действия конкурентов, и подталкивать продажи, когда спрос растет. Покупатели не всегда это замечают, но эффект есть.

Компании, которые добавляют искусственный интеллект для анализа цен, обычно имеют хорошие изменения в бизнесе. Например, маржа растет на 15 процентов, выручка увеличивается до 8 процентов, а неликвидные запасы сокращаются на 30 процентов. Это потому что применяются алгоритмы анализа действий конкурентов и остатков товаров, и изменения цены на основе поведения покупателей. Вручную с большим каталогом товаров это было бы невозможно обработать. Однако такие улучшения нуждаются в правильных настройках алгоритмов.

Заключение

В общем в дропшиппинге с высокой конкуренцией динамические алгоритмы являются основой ценообразования. Они анализируют данные на лету, повышают прибыль и помогают понять покупателей глубже. Методы вроде регрессии нейросетей и усиленного обучения дают точные инструменты. Но интеграция требует осторожности с этической точки зрения.

Список литературы

1. Dynamic Pricing Method in the E-Commerce Industry Using Machine Learning. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/24/11668> (accessed: 17.02.2026).
2. Algorithmic-pricing. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Algorithmic_pricing (accessed: 16.02.2026).

3. Как работает динамическое ценообразование: оптимизация цен на основе данных. URL: <https://habr.com/ru/articles/736270/> (accessed: 16.02.2026).
4. eCommerce Machine Learning: A Guide & Real-World Use Cases. URL: <https://virtocommerce.com/blog/machine-learning-for-ecommerce> (accessed: 16.02.2026).
5. Дропшипинг: что это такое, как работает и как начать?. URL: <https://mpstats.io/media/business/novichkam/chto-takoe-dropshipping> (accessed: 16.02.2026).
6. Boosting Your Dropshipping Business With AI and Machine Learning URL: <https://www.hulkapps.com/blogs/ecommerce-hub/boosting-your-dropshipping-business-with-ai-and-machine-learning> (accessed: 16.02.2026).
7. Пронин, П. С. Конкуренция среди фирм, использующих алгоритмы динамического ценообразования / П. С. Пронин // Экономический вестник. – 2025. – Т. 4, № 5. – С. 25-32. – EDN VQZWOM.
8. Хазиева, А. А. Алгоритмы динамического ценообразования в реальном времени / А. А. Хазиева, С. М. Куценко // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 4(38). – С. 12-16. – EDN YLHACI.
9. Варнухов, А. Ю. Итеративный подход к ценообразованию на цифровых платформах / А. Ю. Варнухов // ВІ-технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов цифровой экономики : Материалы XII Международной научно-практической очно-заочной конференции, Екатеринбург, 04 декабря 2024 года. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2025. – С. 42-46. – EDN ZMAZSU.
10. Соляр, А. В. Динамическое ценообразование на маркетплейсе / А. В. Соляр // Наукосфера. – 2022. – № 8-2. – С. 41-46. – EDN MFGRHG.

References

1. Dynamic Pricing Method in the E-Commerce Industry Using Machine Learning. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/24/11668> (accessed: 17.02.2026).
2. Algorithmic-pricing. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Algorithmic_pricing (accessed: 16.02.2026).
3. How dynamic pricing works: data-driven price optimization. URL: <https://habr.com/ru/articles/736270/> (accessed: 16.02.2026).

4. eCommerce Machine Learning: A Guide & Real-World Use Cases. URL: <https://virtocommerce.com/blog/machine-learning-for-ecommerce> (accessed: 16.02.2026).
5. Dropshipping: what is it, how does it work, and how to get started?. URL: <https://mpstats.io/media/business/novichkam/chto-takoe-dropshipping> (accessed: 16.02.2026).
6. Boosting Your Dropshipping Business With AI and Machine Learning URL: <https://www.hulkapps.com/blogs/ecommerce-hub/boosting-your-dropshipping-business-with-ai-and-machine-learning> (accessed: 16.02.2026).
7. Pronin, P. S. Competition among firms using dynamic pricing algorithms / P. S. Pronin // Economic Bulletin. – 2025. – Vol. 4, No. 5. – pp. 25-32. – EDN VQZWOM.
8. Khazieva, A. A. Algorithms of dynamic pricing in real time / A. A. Khazieva, S. M. Kutsenko // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 4(38). – Pp. 12-16. – EDN YLHACI.
9. Varnukhov, A. Y. Iterative approach to pricing on digital platforms / A. Y. Varnukhov // BI-technologies and corporate information systems in optimizing business processes of the digital economy : Proceedings of the XII International Scientific and Practical correspondence Conference, Yekaterinburg, December 04, 2024. Yekaterinburg: Ural State University of Economics, 2025. pp. 42-46. - EDN ZMAZSU.
10. Solyar, A.V. Dynamic pricing on the marketplace / A.V. Solyar // Science Sphere. – 2022. – No. 8-2. – pp. 41-46. – EDN MFGRHG.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ОБЛАЧНЫХ БАЗ ДАННЫХ NoSQL ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ГЛОБАЛЬНЫХ E-COMMERCE ПЛАТФОРМ

С.Д. Сильнов¹, О.В. Оксюта¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается роль распределённых облачных баз данных NoSQL в построении отказоустойчивых глобальных e-commerce платформ, ориентированных на высокую нагрузку и минимизацию простоев. Анализируются ключевые архитектурные особенности NoSQL-систем, такие как географически распределённые репликации, горизонтальное масштабирование и автоматическое восстановление после отказов, а также их влияние на доступность и производительность коммерческих веб-сервисов.

Ключевые слова: NoSQL, распределённые базы данных, отказоустойчивость, e-commerce, облачные системы, репликация, масштабирование.

USING DISTRIBUTED NOSQL CLOUD DATABASES TO ENSURE THE FAILURE RESILIENCE OF GLOBAL E-COMMERCE PLATFORMS

S.D. Silnov¹, O.V. Oksyuta¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines the role of distributed NoSQL cloud databases in building fault-tolerant global e-commerce platforms designed for high loads and minimal downtime. It analyzes key architectural features of NoSQL systems, such as geographically distributed replication, horizontal scaling, and automatic failure recovery, as well as their impact on the availability and performance of commercial web services.

Keywords: NoSQL, distributed databases, fault tolerance, e-commerce, cloud systems, replication, scaling.

Введение

Глобальные e-commerce платформы сейчас работают с огромными нагрузками, обрабатывая сотни миллионов транзакций каждый день, и им нужны системы хранения данных, которые не сломаются от такой нагрузки. Обычные реляционные SQL базы не справляются с масштабированием, так как это делают NoSQL базы, особенно когда всё распределено по разным регионам. Из-за этого задержки растут, и эффективность падает. NoSQL базы подходят как раз для таких случаев, они не имеют жёстких схем, позволяют легко добавлять узлы для роста и имеют встроенную репликацию данных, чтобы копировать информацию по разным местам.

Облачные NoSQL базы данных и их архитектура

В облаке NoSQL системы помогают с несколькими вещами сразу, вроде непрерывной работы даже если какой-то узел откажет. Они позволяют уменьшить задержки для пользователей из дальних стран. Производительность платформы в целом повышается. Эти базы делятся на типы, например, документо-ориентированные, такие как MongoDB, или колоночные вроде Apache Cassandra и ScyllaDB, ещё key-value типа Redis или DynamoDB, и графовые. Общее свойство всех таких типов баз данных, что у них нет фиксированной схемы, и они масштабируются горизонтально, т.е. можно просто добавлять серверы в кластер.

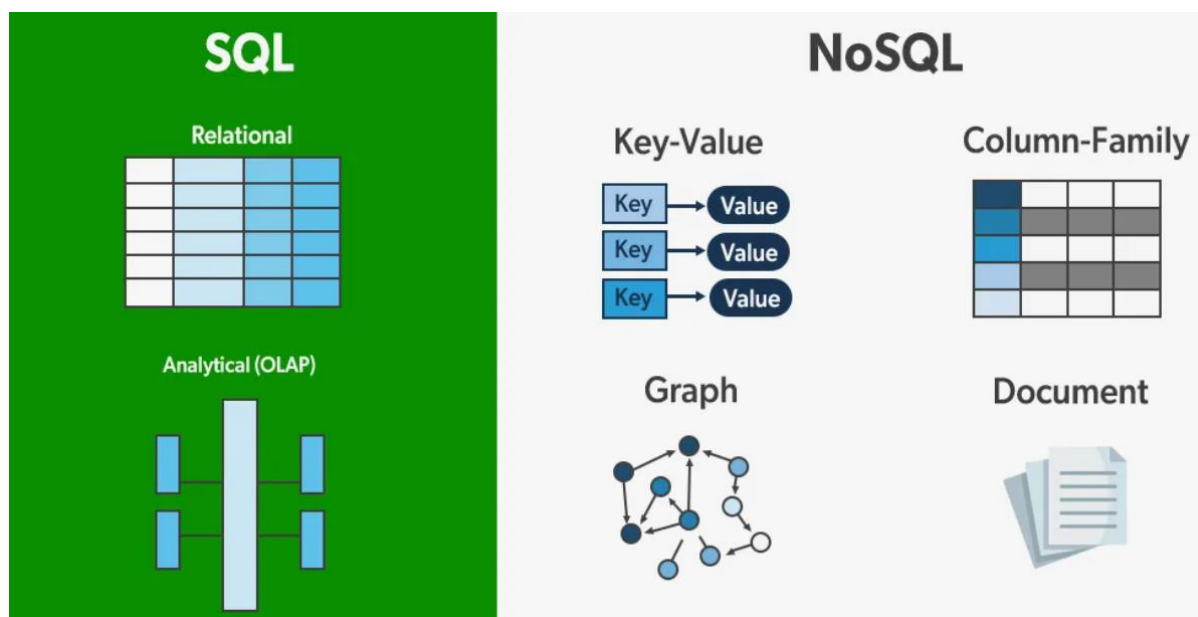


Рисунок 1 – Визуализация отличия SQL от NoSQL

Обеспечение отказоустойчивости

Репликация между дата-центрами - это ключевой момент, когда данные копируются географически, чтобы всё оставалось согласованным. Если сервер или даже весь кластер «упадёт», актуальные записи всё равно остаются. В отличие от старого способа, когда нужно было усиливать один мощный сервер, здесь можно добавлять новые узлы, и пропускная способность растёт без больших задержек на запросы. Отказоустойчивость означает, что система продолжает работать, даже если пара компонентов вышла из строя, и для e-commerce это критично, потому что простой стоит денег.

Репликация распределяет запросы на живые узлы, без остановки всего сервиса. Это можно делать синхронно, когда обновления выполняются сразу на всех узлах, или асинхронно с небольшой задержкой, чтобы балансировать между точностью и скоростью доступа. Многие облачные NoSQL поддерживают автоматический failover, с помощью переключения на запасную реплику. Это делает приложения стабильными.

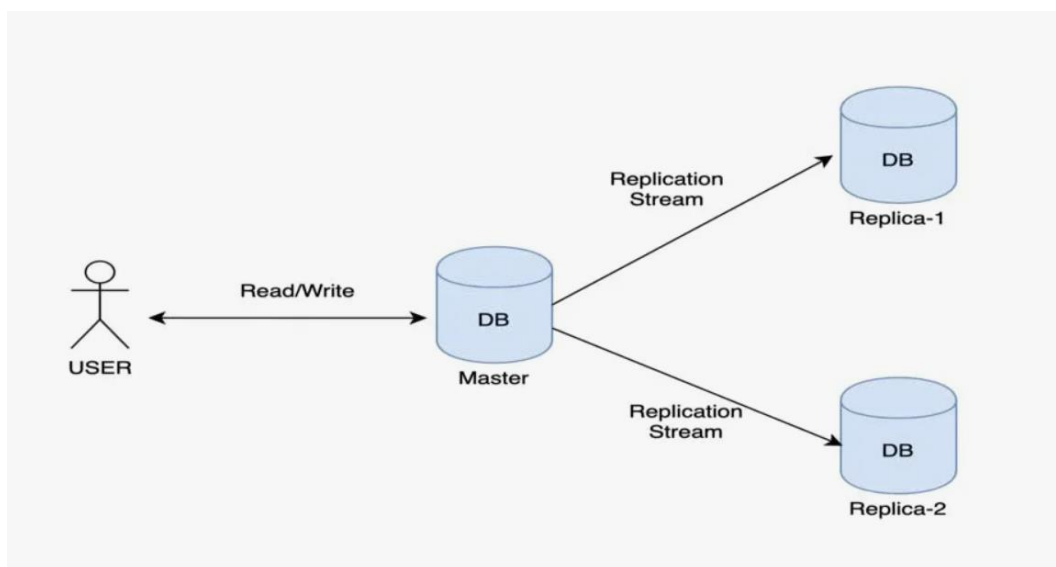


Рисунок 2 – Пример репликации базы данных

NoSQL и глобальные e-commerce платформы

Для больших e-commerce, которые работают на нескольких рынках и выполняют миллионы операций в секунду, характерны проблемы с распределёнными отказами, пиками вроде сезонных распродаж, и синхронизацией между регионами. NoSQL решает это. Преимущества вроде низких задержек могут быть обеспечены, потому что данные расположены «ближе» к пользователям через edge-репликацию. Гибкая консистентность обеспечивается выбором уровня от

сильного до eventual, в зависимости от потребности. Также обеспечивается высокая доступность данных, т.к. нет единой точки отказа и уменьшается риск полного downtime.

Практические решения и примеры

Рассмотрим в качестве примера Amazon DynamoDB от AWS. Это распределённая NoSQL база данных с авто-масштабированием и глобальными таблицами, которая реплицирует данные по регионам. При таком подходе задержки падают, а отказоустойчивость растёт. Azure Cosmos DB от Microsoft поддерживает разные модели данных, обеспечивает репликацию с настройками консистентности, улучшает доступность для глобальных приложений. Ещё Apache Cassandra и ScyllaDB, являющиеся peer-to-peer, без центральных точек, которые работают на сотнях узлов и подходят для крупных e-commerce проектов.

Заключение

Таким образом, для развития таких платформ нужны архитектуры, которые держат отказы, нагрузки и пользователей по всему миру. NoSQL в облаке даёт репликацию, горизонтальное масштабирование, гибкие модели. Это повышает устойчивость, снижает задержки, удовлетворяет запросы пользователей. Хотя иногда кажется, что выбор уровня консистентности может запутать, но в целом это работает.

Список литературы

1. NoSQL // Wikipedia: [сайт]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NoSQL> (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.
2. What are the advantages and disadvantages of distributed databases // Tencent Cloud: [сайт]. – URL: <https://www.tencentcloud.com/techpedia/129523> (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.
3. NoSQL Database Guide // ScyllaDB: [сайт]. – URL: <https://www.scylladb.com/learn/nosql> (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.
4. Cosmos DB // Wikipedia: [сайт]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmos_DB (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.

5. The best distributed NoSQL databases // InfoWorld: [сайт]. – URL: <https://www.infoworld.com/article/2262281/the-best-distributed-nosql-databases.html> (дата обращения: 16.02.2026). – Текст : электронный.

6. Алексеева, А. В. Информационная система для доступа к сетевым файловым хранилищам различного типа / А. В. Алексеева, Б. С. Юдинцев // Инновационные научные исследования. – 2023. – № 4-1(28). – С. 95–107. – DOI 10.5281/zenodo.7882256. – EDN KXRUE. – Текст : непосредственный.

7. Туркин, С. М. Модель системы выбора методов получения и хранения данных из разнородных источников для прогнозирования возникновения лесных пожаров / С. М. Туркин, С. А. Иванов // Экономика. Информатика. – 2024. – Т. 51, № 4. – С. 926–935. – DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-926-935. – EDN WUNDEB. – Текст : непосредственный.

References

1. NoSQL // Wikipedia: [website]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/NoSQL> (date of request: 02/16/2026). – Text : electronic.

2. What are the advantages and disadvantages of distributed databases // Tencent Cloud: [website]. – URL: <https://www.tencentcloud.com/techpedia/129523> (date of request: 02/16/2026). – Text : electronic.

3. NoSQL Database Guide // ScyllaDB: [website]. – URL: <https://www.scylladb.com/learn/nosql> (date of request: 02/16/2026). – Text : electronic.

4. Cosmos DB // Wikipedia: [website]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmos_DB (date of request: 02/16/2026). – Text : electronic.

5. The best distributed NoSQL databases // InfoWorld: [website]. – URL: <https://www.infoworld.com/article/2262281/the-best-distributed-nosql-databases.html> (date of request: 02/16/2026). – Text : electronic.

6. Alekseeva, A.V. Information system for accessing network file storage of various types / A.V. Alekseeva, B. S. Yudinsev // Innovative scientific research. – 2023. – № 4-1(28). – Pp. 95-107. – DOI 10.5281/zenodo.7882256. – EDN KXRUE. – Text : direct.

7. Turkin, S. M. A model of a system for selecting methods for obtaining and storing data from diverse sources for predicting the occurrence of forest fires / S. M. Turkin, S. A. Ivanov // Economy. Information technology. – 2024. – Vol. 51, No. 4. – pp. 926-935. – DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-926-935. – EDN WUNDEB. – Text : direct.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕЛЯЦИИ СОБЫТИЙ МОНИТОРИНГА И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИНЦИДЕНТОВ В ГЕТЕРОГЕННОЙ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЕ

Т.В. Скворцова¹, А.К. Брайко¹, О.А. Авилова¹

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы автоматизации процессов мониторинга в микросервисных архитектурах, где традиционные подходы часто оказываются недостаточно эффективными. Проанализированы ограничения пороговых методов обнаружения сбоев, которые приводят к избыточному количеству уведомлений. Описан новый подход к агрегации данных телеметрии, включающий метрики, логи и распределенные трассировки, для выявления составных инцидентов. Представлена математическая модель нормализации событий и алгоритм их корреляции, направленный на снижение уровня информационного шума и сокращение времени идентификации инцидента. Приведены результаты экспериментальной оценки на синтетическом наборе данных, подтверждающие работоспособность предложенного метода с показателем F1-меры на уровне 0,86.

Ключевые слова: мониторинг, микросервисная архитектура, событие, ИТ-инфраструктура.

STUDYING MONITORING EVENT CORRELATION METHODS AND DEVELOPING AN INCIDENT DETECTION SYSTEM IN A HETEROGENEOUS IT INFRASTRUCTURE

T.V. Skvortsova¹, A.K. Braiko¹, O.A. Avilova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the automation of monitoring processes in microservice architectures, where traditional approaches often prove ineffective. The limitations of threshold-based failure detection methods, which lead to excessive notifications, are analyzed. A new approach to telemetry data aggregation, including metrics, logs, and distributed traces, is described for identifying complex incidents. A mathematical model for event normalization and an algorithm for their correlation

are presented, aimed at reducing information noise and reducing incident identification time. The results of an experimental evaluation on a synthetic dataset are presented, confirming the effectiveness of the proposed method with an F1 score of 0.86.

Keywords: monitoring, microservice architecture, event, IT infrastructure.

Цифровая трансформация и вызовы наблюдаемости

Цифровая трансформация и повсеместное внедрение облачных технологий (того, что называют Cloud Native) серьёзно поменяли ИТ-инфраструктуру компаний. Вместо монолитов всё чаще ставят распределённые микросервисные архитектуры, которые крутятся под управлением оркестраторов. И этот процесс неизбежно ведёт к одному – система становится сложнее, а данных, которые она генерирует, – экспоненциально больше. Системы мониторинга крупных предприятий каждый день перерабатывают терабайты телеметрии. Но тут есть проблема: чем больше данных собираешь, тем прозрачнее система не становится. Наоборот. Инженеры тонут в информационном шуме. В потоке событий – от загрузки CPU до строчек в логах приложений – трудно быстро понять, где следствие, а где коренная причина сбоя.

Почему это важно? Потому что нужно снижать операционные риски и держать ИТ-сервисы стабильными, даже когда вокруг много неопределённости. А инструменты мониторинга часто пилят тонны избыточных уведомлений. От этого персонал устаёт – есть даже термин «усталость от алертов» – и в какой-то момент можно пропустить действительно критический инцидент. Наша цель – разработать методику и программное средство для автоматической корреляции событий. Такое, чтобы точность диагностики стала выше.

Проблематика мониторинга гетерогенных сред

Подходы к мониторингу, основанные на статичных пороговых значениях, например, когда загрузка процессора превышает определенный процент, имеют существенные ограничения при работе в динамической среде. Во-первых, сама динамика среды предполагает автоматическое создание и удаление контейнеров, поэтому кратковременные изменения нагрузки могут являться штатным режимом работы при запуске сервиса, а не аномалией. Во-вторых, в распределенных системах часто возникают каскадные сбои, когда отказ одного компонента инфраструктуры вызывает цепную реакцию ошибок в зависимых сервисах. В таких

случаях оператор системы мониторинга получает множество уведомлений, сигнализирующих о локальных проблемах, но не указывающих на первоисточник неисправности.

Для решения указанной задачи требуется переход к комплексному анализу трех типов данных наблюдаемости. К ним относятся метрики, представляющие собой количественные показатели вроде задержек или пропускной способности, логи, содержащие текстовые записи событий об ошибках и исключениях, и трассировки, показывающие цепочки вызовов между сервисами. Объединение данных потоков в единую модель позволяет контекстуализировать события и более точно определять состояние системы.

Математическая модель и методы корреляции

Для алгоритмической обработки разнородных данных в работе используется унифицированная векторная модель события. Пусть E обозначает множество всех зарегистрированных событий. Каждое отдельное событие e_i описывается вектором, компоненты которого включают временную метку регистрации события t_i , идентификатор источника $source_i$, тип события $type_i$, значение события $value_i$, метаданные контекста $context_i$ и метку аномальности y_i . Значение события может быть числовым или текстовым, а метаданные связывают событие с конкретной транзакцией. Метка аномальности представляет собой бинарный признак, принимающий значение 0 или 1.

Инцидент I_j в данной модели определяется не как одиночное событие, а как кортеж, агрегирующий множество связанных событий. Он включает временной интервал T_j , подмножество событий E_j , список затронутых компонентов C_j , а также уровень критичности $severity_j$.

Метод корреляции базируется на предположении о пространственно-временной связи событий, относящихся к одному инциденту. Процесс включает несколько этапов. На этапе пространственной привязки алгоритм использует карту зависимостей сервисов для определения топологической близости источников. Учитывается связь между зависимыми сервисами при одновременном возникновении ошибок. На этапе временной группировки события фильтруются через скользящее временное окно, размер которого в базовых сценариях составляет от одной до пяти минут. На этапе контекстной связи используется идентификатор транзакции для объединения метрик и логов в единый кластер. Разметка трассировки $Y(\tau_k)$ определяется как максимальное значение аномальности среди всех

входящих в неё событий, что выражается формулой $Y(\tau_k) = \max\{y_i: e_i \in \tau_k\}$. Данный подход позволяет выявлять скрытые проблемы, при которых функциональность системы сохраняется, но происходит деградация качественных характеристик обслуживания.

Архитектура и реализация системы

Для проверки теоретической модели был разработан прототип системы мониторинга, архитектура которого построена на открытых технологиях. Сбор данных осуществляется компонентами Prometheus для метрик, Fluentd для логов и OpenTelemetry для трассировок. Ядро обработки реализовано на языке Python и выполняет нормализацию поступающих данных, их фильтрацию и корреляцию. Результаты сохраняются в базу данных Elasticsearch.

Для тестирования была развернута микросервисная архитектура в среде Docker Compose. С помощью генератора синтетической нагрузки эмулировались различные сценарии сбоев, включая утечку памяти, сетевые задержки, отказ базы данных и высокую нагрузку на шлюз. Был сформирован набор данных, содержащий размеченные инциденты для обучения и валидации алгоритма.

Результаты экспериментальной оценки

Мы оценивали эффективность по двум группам метрик – качество классификации и скорость работы. По точности обнаружения получили Precision = 0,88. Это значит, что большая часть уведомлений, которые выдала система, действительно указывала на реальную проблему. Показатель Recall = 0,85 – столько инцидентов из всех смоделированных мы успешно зафиксировали. Итоговая F1-мера (среднее гармоническое между точностью и полнотой) вышла 0,865.

Если смотреть на время, то средняя продолжительность между началом сбоя и формированием оповещения (MTTI) составила от двух до четырёх минут. Ложных срабатываний стало меньше – это хорошо, потому что операторы тратят меньше времени на разбор пустышек и начинают больше доверять системе мониторинга.

Заключение

В работе была рассмотрена задача автоматической корреляции событий в гетерогенных ИТ-системах. Предложенная векторная модель события позволяет эффективно объединять числовые и текстовые данные для последующего анализа. Использование идентификаторов трассировки обеспечивает надежную

связь между метриками и логами при анализе работы микросервисов. Разработанный алгоритм был протестирован на синтетических данных и продемонстрировал высокую эффективность с F1-мерой на уровне 0,86. Полученные результаты могут быть использованы при организации процессов эксплуатации, а перспективным направлением дальнейших исследований является внедрение методов машинного обучения для прогнозирования сбоев до момента их возникновения.

Список литературы

1. Москвичев А. Д., Долгачев М. В. Алгоритмы корреляции событий информационной безопасности // Автоматизация процессов управления. 2020. № 3. С. 50–59.
2. Гайфулина Д. А., Котенко И. В. Анализ моделей глубокого обучения для задач обнаружения сетевых аномалий интернета вещей // Информационно-управляющие системы. 2021. №. 1 (110). С. 28–37.
3. Общий подход к построению перспективных систем мониторинга распределенных информационно-телекоммуникационных сетей / Аллакин В.В., Будко Н.П., Васильев Н.В. // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4. С. 125-227.
4. Системная инженерия в проблемах национальной безопасности / Анищенко А.В., Артемьев В.Б., Бондарева М.К., Будзко В.И., Бурмака А.А., Бычков И.В., Васильев В.И., Вульфин А.М., Гаденин М.М., Гарбук С.В., Гедзюн В.С., Головин С.А., Емельянов С.Г., Жуков А.О., Зацаринный А.А., Зорин А.В., Игнатьев А.Г., Капустин А.Я., Климов С.М., Козлов С.В. и др. Тематический блок «Национальная безопасность». Москва, 2025.

References

1. Moskvichev A. D., Dolgachev M. V. Information Security Event Correlation Algorithms // Automation of Control Processes. 2020. No. 3. pp. 50-59.
2. Gaifulina D. A., Kotenko I. V. Analysis of Deep Learning Models for Internet of Things Network Anomaly Detection Problems // Information Control Systems. 2021. No. 1 (110). pp. 28-37.
3. General Approach to Building Promising Systems for Monitoring Distributed Information and Telecommunication Networks / Allakin V. V., Budko N. P., Vasiliev N. V. // Control, Communication, and Security Systems. 2021. No. 4. pp. 125-227.

4. Systems Engineering in National Security Issues. Anishchenko A.V., Artemyev V.B., Bondareva M.K., Budzko V.I., Burmaka A.A., Bychkov I.V., Vasiliev V.I., Vulfin A.M., Gadenin M.M., Garbuk S.V., Gedzyn V.S., Golovin S.A., Emel'yanov S.G., Zhukov A.O., Zatsarinny A.A., Zorin A.V., Ignatiev A.G., Kapustin A.Ya., Klimov S.M., Kozlov S.V. and others. Thematic block "National Security". Moscow, 2025.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВСЕРОССИЙСКОЙ ПРОВЕРОЧНОЙ РАБОТЕ (ВПР)

Т.В. Скворцова¹, П.А. Пискурский¹, О.А. Авилова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится анализ по улучшению и оптимизации онлайн-платформы для поддержания её востребованности на рынке. Были изучены современные семантические эмбединги (ИИ-модели), направленные на решение основных недостатков алгоритмов TF-IDF и косинусного сходства. Также была рассмотрена перспективная возможность, направленная на использование метода трансферного обучения (дообучения) ИИмоделей для снижения вычислительных затрат, достижения оптимальной производительности и увеличения точности обработки текстов.

Ключевые слова: ИИ, нейронные сети, машинное обучение, латентно-семантический анализ, WEB-разработка.

FURTHER DEVELOPMENT OF THE ONLINE PLATFORM FOR PREPARATION FOR THE ALL-RUSSIAN TEST ASSIGNMENT (VPR)

T.V. Skvortsova¹, P.A. Piskursky¹, O.A. Avilova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyzes how to improve and optimize the online platform to maintain its market demand. Modern semantic embeddings (AI models) aimed at solving the main disadvantages of TF-IDF and cosine similarity algorithms were studied. A promising opportunity aimed at using the transfer learning method of AI models to reduce computational costs, achieve optimal performance and increase the accuracy of word processing was also considered.

Keywords: AI, neural networks, machine learning, latent semantic analysis, WEB development.

Введение

В 2016 году в систему образования была введена Всероссийская проверочная работа (ВПР) для отслеживания состояния системы образования путём проверки знаний обучающихся в образовательных организациях от Федерального института оценки качества образования (далее – ФИОКО) [1]. Конечные цели ВПР – дать не только независимую оценку просвещения знаний, но и выявлять проблемы в знаниях обучающихся для проведения последующей методической работы.

В первое время, итоги ВПР показывали значительно хорошие результаты, однако позже выяснилось, что учителя и педагоги помогали обучающимся выполнять задания, из-за этого снижалась объективность результатов для независимой оценки [2]. Следовательно, для повышения объективности были введены методической работы по комплексному повторению материалов, привлечены независимые наблюдатели по контролю проведения ВПР и тренировочные варианты заданий для подготовки.

Согласно результатам информационного обзора оценки качества образования от ФИОКО за период 2021-2024 гг., количество «двоек» сократилось, а количество высоких оценок наоборот увеличились [3]. Несмотря на положительную динамику, обучающиеся столкнулись психологическим давлением, выпадением из привычного процесса, а на учителей увеличилась нагрузка, что приводит образовательной организации к дополнительным расходам и времени на подготовку ВПР [4].

Для решения данных проблем подойдет современная автоматизированная онлайн-платформа подготовки к ВПР с применением искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения для оценки развернутых ответов.

Архитектура онлайн-платформы

Онлайн-платформа по подготовке к ВПР представляет из себя многофункциональный веб-сайт, состоящий из бэкенда и фронтенда. Бэкенд же, в свою очередь, состоит из веб-сервера, который отвечает за обработку авторизации, ответы на задания, передачу информации между обучающимися и преподавателями, сбор и отображение статистики. Фронтенд с помощью языков разметки и скриптового языка обеспечивает пользователя удобным интерфейсом веб-сайта, включающим интерактивные элементы и современное оформление.

В платформе типы задания будут разными, в соответствии с ВПР.

Большая часть типов заданий подлежат к простой обработке ответов:

- тест с одинарным ответом;
- тест с множественными ответами;
- тест с проверкой точного строкового совпадения (побуквенной идентичности ответа);
- задание с установками соответствий; – задание с заполнением таблиц.

Также, будет тип задания, который позволяет оценивать развернутый ответ. Однако, оценить такой ответ простыми алгоритмами будет крайне сложно или вообще невозможно.

Векторная модель поиска

Для оценки развернутых ответов, машине нужно понимать, с чем имеет дело. Компьютер не понимает строковые символы, изображения или ещё что-то абстрактное, лишь только нули и единицы. Для этого используется эмбединг – процесс преобразования абстрактных данных в набор чисел [5]. Этот набор чисел является вектором, которое располагается в векторном пространстве (например, двумерная координатная плоскость).

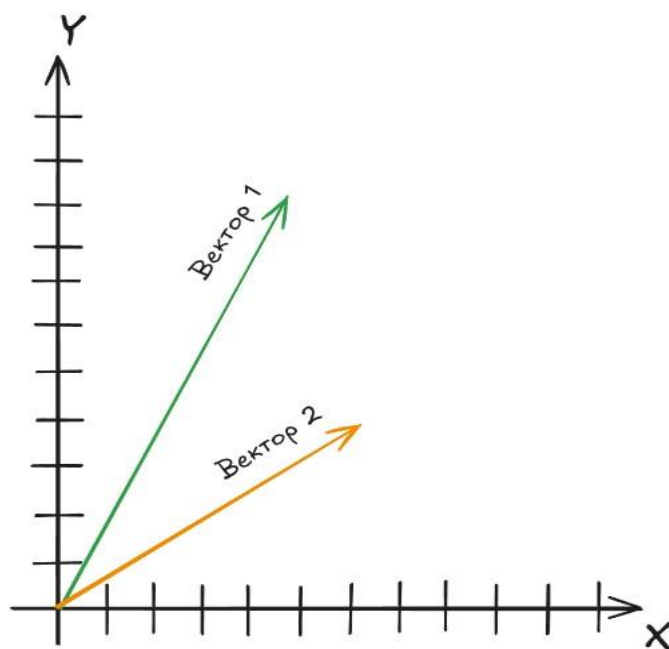


Рисунок 1 – Вектора на координатной плоскости

В нашем случае, для преобразования текста в эмбединга, воспользуемся алгоритмом TF-IDF – статистической мерой, которая используется для оценки важности термина в документе, являющемся частью коллекции документов или

корпуса [6]. Важность термина возрастает пропорционально частоте его появления в документе, но компенсируется частотой термина в корпусе. Его преимущества – это: учитывать не только частоту термина, но и его редкость; снижать влияние общих терминов, не несущие различительной информации; увеличивает вес специфичных терминов; создает более информативные векторные представления.

Расчёт веса термина производится как произведение локальной и глобальной компонент:

$$w_{t,d} = tf(t, d) \cdot idf(t) \quad (1)$$

Формула TF-IDF состоит из двух компонентов:

- TF (Term Frequency, $tf(t, d)$) – насколько часто встречается термин в документе (2);
- IDF (Inverse Document Frequency, $idf(t)$) – насколько уникален этот термин во всем корпусе. Чем в большем количестве документов встречается термин, тем меньше его вес (3).

$$tf(t, d) = \frac{f_{t,d}}{\sum_k f_{k,d}} \quad (2)$$

$$w_{t,d} = tf(t, d) \cdot idf(t) \quad (3)$$

На выходе получается матрица весов терминов (рисунок 2).

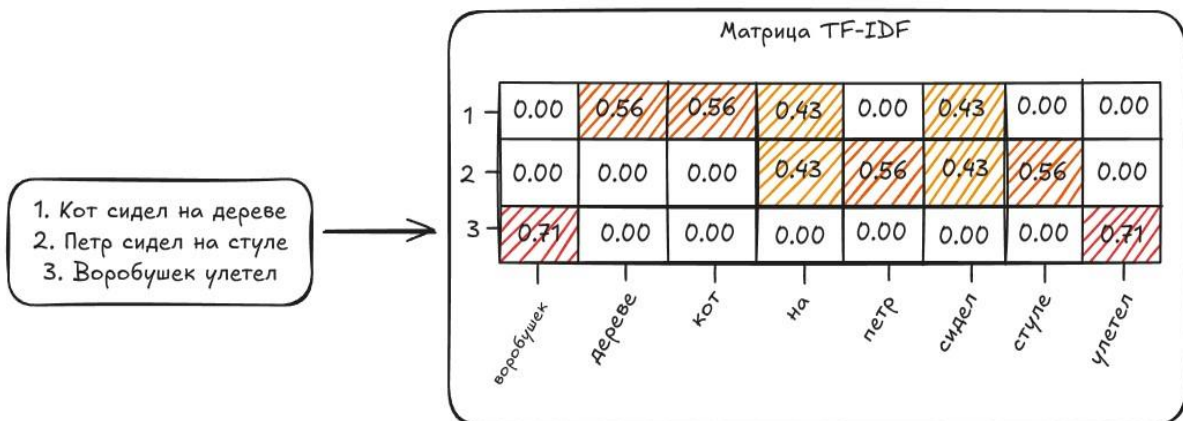


Рисунок 2 – Матрица TF-IDF

Дабы понять, являются ли два текста (документа), представленные в виде векторов, близкие по смыслу, воспользуемся метрикой, измеряющая угол между двумя векторами – косинусное сходство [7]. Чем меньше угол, тем больше сходство. Для текстовых данных используется положительное пространство, поэтому диапазон является $[0, 1]$. Математически это выражается через скалярное произведение и норму векторов:

$$\cos(\theta) = \frac{a \cdot b}{|a| \cdot |b|} \quad (4)$$

где: $a \cdot b$ – скалярное произведение векторов;

$|a|$ и $|b|$ – нормы (длины) векторов;

θ – угол между векторами.

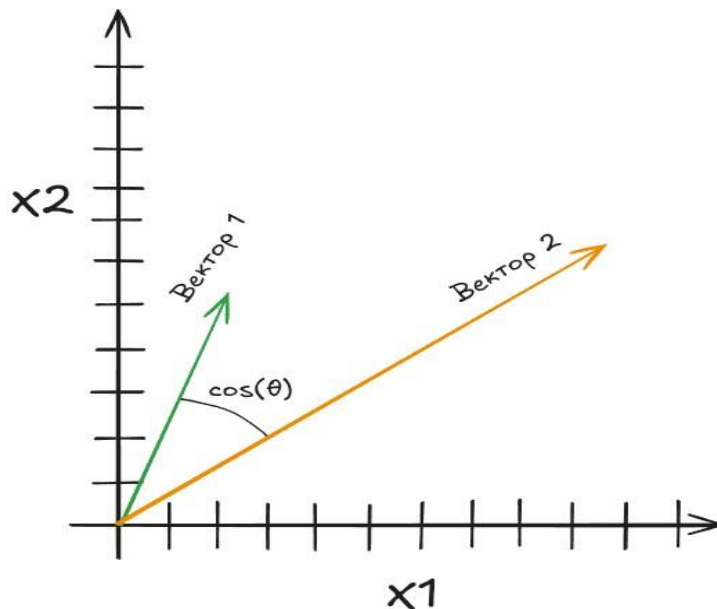


Рисунок 3 – Угол между двумя векторами

Ключевое преимущество косинусного сходства

Главный плюс косинусного сходства – оно не зависит от масштаба. Если векторы смотрят в одну сторону, но сильно отличаются по длине, сходство всё равно будет высоким. Ещё эта метрика устойчива к шуму и словам, которые не несут смысла. Она хорошо ловит фундаментальные семантические закономерности в текстовых эмбедингах и не ломается от лексического мусора и стоп-слов. Поэтому её можно применять к неструктурированным текстам, где полно нерелевантных выражений и фоновых помех [8].

Ограничения векторных моделей и что с ними делать

Алгоритмы вроде TF-IDF простые и популярные, но у них есть серьёзные минусы. Они сильно портят качество, когда нужно автоматически оценивать развёрнутые ответы. TF-IDF работает только с поверхностными лексическими совпадениями. Если общих слов нет, она не поймёт, что тексты близки по смыслу. Один и тот же смысл, выраженный разными словами и конструкциями, приводит к резкому падению косинусной меры. Многозначные термины TF-IDF тоже не

различает – может зависеть совпадение там, где это не нужно. И главное: векторные модели оценивают общее сходство признаков, но не смотрят на порядок изложения, причинно-следственные связи и качество аргументации. А это ключевые вещи, когда мы оцениваем развёрнутые ответы в гуманитарных и социальных дисциплинах [9].

Для решения этой проблемы, можно было бы попробовать создать нейронную сеть с «нуля» и обучать её, но для таких задач это крайне невыгодно как по времени, так и экономически: необходимо иметь мощное оборудование и огромный датасет, чтобы эффективно обучать модель. Использование готовой большой модели с огромными миллиардными параметрами также потребует мощное оборудование и много времени на обработку развернутых ответов.

Готовые семантические эмбединги (модели) больше подходят для решения таких задач. Они:

- не требуют обучения;
- понимают семантику, перефразирование, синонимы;
- точность на 30–50% выше TF-IDF на реальных данных;

Замена TF-IDF на предобученные семантические эмбединги даст максимальный прирост качества с минимальными усилиями. Однако, недостаточно просто внедрить модель и сразу её использовать.

Трансферное обучение

Всегда есть вероятность, что модель выдаст неверный результат при оценки развернутого ответа, который всё же является правильным. Чтобы предотвращать такие ситуации, модель нужно дообучать – трансферное обучение. Это метод, который просто дообучает существующую ML-модель для решения других задач [10]. Разница классического и трансферного обучения представлена в таблице 1.

Более подходящая модель под нашу задачу подойдет «paraphrasemultilingual-MiniLM-L12-v2». Благодаря таким преимуществам, как предобучение на задачах семантического сходства и перефразирования, компактная архитектура и поддержка более 50 языков позволяет обеспечивать устойчивость к вариативности формулировок определений и выполнять как инференсию, так и периодическое дообучение исключительно на CPU без потребления видеопамяти. Модель может работать на чистом CPU благодаря её компактности и небольшого числа параметров, что делает её применимой на стандартном учебном сервере без GPU [11, 12].

Существующие модели для трансферного обучения представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Разница классического и трансферного обучения

	Классическое обучение	Трансферное обучение
Обучение	Нужно с «нуля»	На основе модели, обученной на датасете
Вычислительные затраты	Высокие	Низкие
Необходимый объем данных	Большой	Малый
Использование знаний	Каждая модель обучается независимо	Использует знания из предварительно обученной модели
Время достижения оптимальной производительности	Длительное	Быстрое
Эффективность	Не эффективна в условиях ограниченных ресурсов	Эффективна в условиях ограниченных ресурсов

Таблица 2 – Мультиязычные модели семантических эмбедингов

Модель	Языки	Параметры	Особенности
paraphrase-multilingualMiniLM-L12-v2	50+	33M	Оптимизирована под семантическое сходство и перефразирование; минимальные требования к CPU
multilingual-e5-small	100+	110M	Поддержка query/document-режима; быстрая инференция на CPU
paraphrase-multilingualmpnet-base-v2	50+	278M	Высокая точность на семантических задачах; устойчивость к перефразированию; требуется ≥ 4 ядер CPU для дообучения
multilingual-e5-base	100+	278M	Универсальность; поддержка длинных текстов до 512 токенов

На пилотном этапе модель будет ограничена в рамках ответов, которые связаны с дисциплиной «Информатика», охватывающие определения терминов и описание архитектурных концепций. На этих данных модель будет тестироваться и адаптироваться методом трансферного обучения.

Для более эффективного обучения модели будет использоваться система подачи апелляции. Если пользователь после прохождения теста увидит, что его развернутый ответ оценен как «неверный», хотя является верным, то он подаёт

апелляцию. Администратор или преподаватель увидит данную апелляцию и ему необходимо принять решение, является ли ответ верным или нет. После принятия решения, оно вместе с развернутым ответом отправляется на дообучение модели.

Будущая актуальность

При успешной валидации модели на дисциплине «Информатика» планируется расширение системы на другие предметные области ВПР, такие как естественно-научный цикл, математические и гуманитарные науки.

Для повышения доступности платформы будет реализована полноценная поддержка английского языка, что обеспечит работу с иностранными обучающимися и образовательными организациями стран СНГ. Функционал отчётности будет дополнен расширенной аналитикой (динамика освоения тем, типовые ошибки по классам) и возможностью экспорта отчётов в форматы DOCX, PDF и ODT для интеграции в документооборот учебного заведения.

Ключевым элементом масштабируемости станет внедрение внешнего REST API, позволяющего обеспечивать обмен данными с корпоративными системами управления обучением образовательной организации (напр. система «Гиперион» от ВГЛТУ), а также интеграцию с национальным мессенджером МАХ через образовательного бота с поддержкой WebApp-платформы. Это обеспечит доступ к заданиям и результатам в привычной для обучающихся среде мгновенных сообщений, повысит вовлечённость и снизит барьер входа в образовательную платформу.

Заключение

В статье мы показали, почему классические алгоритмы вроде TF-IDF и косинусного сходства лучше заменить на предобученные семантические эмбединги, когда речь идёт об автоматической оценке развёрнутых ответов. Модель «paraphrase-multilingual-MiniLM12-v2» даёт оптимальный баланс – точность выросла на 30–50% по сравнению с TF-IDF, она устойчива к пересказу одних и тех же мыслей разными словами, и при этом не требует мощного железа (нормально работает на CPU, GPU не нужен). Если добавить дообучение на реальных апелляциях преподавателей, модель легко адаптируется под особенности конкретного предмета. Пилотное внедрение на «Информатике» станет первым шагом, а дальше можно будет масштабировать решение на все предметы ВПР и создать единую цифровую среду, где знания будут оценивать объективно.

Список литературы

1. Мероприятия по оценке качества образования – Портал. URL: <https://fioco.ru/ru/osoko> (дата обращения: 08.02.2026).
2. Эмбединги для начинающих. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/787116/> (дата обращения (08.02.2026).
3. Косинусное сходство – Метрика сходства текста – Изучите машинное обучение. URL: <https://studymachinelearning.com/cosine-similarity-text-similarity-metric/> (дата обращения 08.02.2026).
4. Косинусное сходство: преимущества для встраивания текста. URL: <https://www.csharpcorner.com/article/cosine-similarity-benefits-for-text-embeddings/> (дата обращения 08.02.2026).
5. Косинусное сходство – GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/dbms/cosine-similarity/> (дата обращения 08.02.2026).
6. Трансферное обучение: подробный гайд для начинающих. URL: <https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/835020/> (дата обращения 08.02.2026).

References

1. Education Quality Assessment Activities – Portal. URL: <https://fioco.ru/ru/osoko> (accessed: 08.02.2026).
2. Embeddings for Beginners. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/787116/> (date of access (08.02.2026).
3. Cosine Similarity – Text Similarity Metric – Study Machine Learning. URL: <https://studymachinelearning.com/cosine-similarity-text-similarity-metric/> (date of access 08.02.2026).
4. Cosine Similarity: Benefits for Text Embeddings. URL: <https://www.csharpcorner.com/article/cosine-similarity-benefits-for-text-embeddings/> (date of access 08.02.2026).
5. Cosine Similarity – GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/dbms/cosine-similarity/> (date of access February 8, 2026).
6. Transfer learning: a detailed guide for beginners. URL: <https://habr.com/ru/companies/skillfactory/articles/835020/> (accessed February 8, 2026).

ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ СПО К ВСЕРОССИЙСКОЙ ПРОВЕРОЧНОЙ РАБОТЕ (ВПР) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБУЧАЮЩЕЙ ИИ МОДЕЛИ

Т.В. Скворцова¹, П.А. Пискурский¹, О.А. Авилова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается разработка веб-платформы для подготовки студентов среднего профессионального образования к всероссийской проверочной работе с применением искусственного интеллекта для автоматической оценки развернутых ответов. В основе решения лежит гибридный подход, объединяющий латентно-семантический анализ, косинусное сходство и дообучаемые трансформерные модели. Платформа позволяет сократить время проверки ответов преподавателями на 60–80%, снизить количество пересдач и повысить объективность оценивания. Решение разработано с учётом требований к хранению данных на территории Российской Федерации и совместимости с отечественными образовательными системами.

Ключевые слова: автоматическая оценка ответов, искусственный интеллект в образовании, всероссийская проверочная работа, среднее профессиональное образование, латентно-семантический анализ, гибридные NLP-модели, цифровая образовательная среда.

ONLINE PLATFORM FOR PREPARING STUDENTS OF SECONDARY EDUCATION FOR THE ALL-RUSSIAN TEST (VPR) USING A TRAINING AI

T.V. Skvortsova¹, P.A. Piskursky¹, O.A. Avilova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper examines the development of a web platform for preparing secondary vocational education students for the All-Russian assessment using artificial intelligence for the automatic evaluation of detailed answers. The solution is based on a hybrid approach combining latent semantic analysis, cosine similarity, and retrainable transformer models. The platform reduces the time teachers spend checking answers by 60–80%, reduces the number of retakes, and improves the

objectivity of assessment. The solution is designed to meet data storage requirements within the Russian Federation and ensure compatibility with domestic educational systems.

Keywords: automatic assessment, artificial intelligence in education, All-Russian test, secondary vocational education, latent semantic analysis, hybrid NLP models, digital educational environment.

Введение

Подготовка студентов среднего профессионального образования (СПО) к всероссийской проверочной работе (ВПР) остаётся сложной и ресурсоёмкой задачей, в значительной части из-за ручной проверки развернутых ответов, задержек обратной связи и ограниченности специализированных цифровых инструментов. На уровне системы образования проблема подтверждается регулярными аналитическими отчётами и обзорами: высокая нагрузка на преподавателей, дефицит объективной и быстрой оценки, нерациональные расходы времени и средств [1, 2]. Дополнительно обсуждается социально-профессиональный аспект – стресс и выгорание педагогов, что усиливается циклом тренировочных попыток перед ВПР и ростом пересдач [3]. В практической плоскости значимо и экологическое измерение: массовые распечатки контрольно-измерительных материалов и тренировочных заданий приводят к ощутимым расходам древесины и сопутствующих материалов, особенно при многократных попытках подготовки.

Существующие популярные решения в России фокусируются либо на типовых тестах и банках задач, либо на универсальных системах управления обучением (СУО), не предоставляя надёжной автоматической семантической оценки развернутых ответов. Так, «Сдам ГИА» ориентирован преимущественно на тесты с выбором варианта и не выполняет объективную автоматическую проверку свободных текстовых ответов [7], а Moodle в стандартной конфигурации предполагает ручную проверку эссе и развернутых ответов преподавателем [8]. Итогом становится замедленная обратная связь, субъективность и ограниченная аналитика по темам и навыкам.

В этой работе предлагается и исследуется научно-технический подход и прототип онлайн-платформы, специализирующейся на подготовке к ВПР в СПО и обеспечивающей автоматическую оценку развернутых ответов на основе латентно-семантического анализа (ЛСА) и косинусного сходства. Выбор ЛСА и близкостных метрик опирается на их фундаментальную обоснованность в информационном поиске и семантическом сопоставлении текстов [5, 6], а также на практическую воспроизводимость в условиях ограниченных вычислительных

ресурсов и гибкость настройки под рубрики ВПР. Для проверки гипотезы и получения воспроизводимых результатов используется открытый публичный датасет коротких ответов с экспертными оценками (ASAP – Автоматизированная оценка коротких ответов, платформа Kaggle) [9]. Несмотря на англоязычное происхождение датасета, его структура (пары «ответ–оценка», рубрикатор, балльная шкала) методологически релевантна задачам СПО/ВПР, а часть экспериментов сопровождается переводной адаптацией для оценки переносимости подхода на русскоязычные материалы.

Цели и новизна исследования состоят в том, чтобы:

- обосновать применимость ЛСА и косинусного сходства для автоматической семантической проверки развернутых учебных ответов в условиях ВПР-конкурентных рубрик;
- показать воспроизводимость результатов на публичном наборе данных, дать метрики точности и согласованности с экспертной оценкой, а также описать полный конвейер предварительной обработки;
- продемонстрировать практическую ценность для образовательной организации через оценочные расчёты экономического эффекта, уместность интеграции в цифровую среду и снижение нагрузки преподавателей.

Научная новизна работы – в систематическом объединении классического ЛСА-подхода с рубричной моделью оценивания ВПР и реализацией объяснимой проверки свободного ответа через семантическую близость к эталонным фрагментам рубрик. В отличие от существующих банков задач и универсальных СУО, исследуемый подход стремится обеспечить: ускорение циклов обратной связи, унификацию критериев, корреляцию с экспертными баллами и в перспективе снижение потребности в бумажных материалах за счёт онлайн-режима.

Фокус работы – не на замене преподавателя, а на уменьшении рутины и повышении качества данных. Платформа и описанные методы ориентированы на интеграцию в российскую образовательную инфраструктуру и на соблюдение требований хранения данных, что важно для реального внедрения в СПО. Предложенный конвейер учитывает этапы нормализации текста, лемматизации, построения взвешенных представлений (ТФ-ИДФ с последующим сингулярным разложением), калибровку порогов и сопоставление с эталонными рубриками ВПР [5, 6], что далее детализируется в методическом разделе.

Ключевые вклад и практические результаты, которых мы стремимся достигнуть в статье:

- верификация базовой точности ЛСА+косинус (точность, полнота, F1, доля совпадений с экспертом в диапазоне ± 1 балла) на публичном датасете [9];
- демонстрация объяснимости оценок (подсветка покрытых рубричных элементов, коэффициенты близости по каждому компоненту ответа);
- анализ ограничений, типов ошибок и условий воспроизводимости (разметка данных, объёмы, влияние предварительной обработки).

Обзор проблем и контекста

Проблематика подготовки студентов СПО к ВПР складывается из взаимосвязанных управленческих, педагогических, технологических и экологических факторов. Нагрузку на преподавателей, необходимость объективности оценивания, дефицит инструментов автоматической семантической проверки развернутых ответов и бумажные издержки в массовом формате подготовки подтверждают как отраслевые обзоры, так и практические наблюдения в учреждениях образования [1, 2, 3]. При этом действующие инициативы цифровизации (федеральный проект «Цифровая образовательная среда») акцентируют доступность и инфраструктуру, но не решают специфическую проблему автоматической оценки свободного текста по рубрикам ВПР [11].

Во-первых, высокая нагрузка на преподавателей при проверке развернутых ответов приводит к задержкам обратной связи, росту пересдач и апелляций, и в конечном счёте снижению мотивации и качества подготовки. В аналитических материалах по ВПР и в публичных обсуждениях фиксируется дефицит времени на проверку, необходимость унификации критериев, а также стресс и выгорание педагогов [2, 3, 5]. Типичный цикл «подготовка – тренировочная попытка – разбор ошибок» вынуждает расходовать десятки человеко-часов на потоковую ручную валидацию коротких и развернутых ответов.

Во-вторых, экологическая составляющая подготовки к ВПР (многократные распечатки тренировочных заданий, рабочих листов, ведомостей) масштабно расходует бумагу и связанные ресурсы. В измеримых величинах это выглядит следующим образом: при стандартной плотности офисной бумаги 80 г/м² один лист формата А4 имеет массу около 5 г; для среднего колледжа с 1000 студентами, по 3 тренировочные попытки, по 6 страниц на попытку объём печати составляет $1000 \times 3 \times 6 = 18\,000$ листов, то есть около 90 кг бумаги. Даже оценка в десятки килограммов на одно образовательное учреждение в сезон подготовки

означает значимые тоннажи на уровне региона. Педагогические публикации подчёркивают не только трудозатраты, но и «бумажную рутину» как значимый негативный фактор [5, 7], а переход к онлайн-режиму и цифровым форматам рассматривается как способ снизить оборот бумаги без ущерба качеству подготовки.

В-третьих, широко используемые решения не покрывают задачу автоматической семантической проверки развернутых ответов. «Сдам ГИА» является удобным банком задач и тестов, но фактически ориентирован на закрытые форматы и не выполняет объективную автоматическую оценку свободного текста [7]. Moodle в стандартной конфигурации допускает автоматическую проверку «кратких ответов» (по ключу), но тип «эссе» и другие развернутые ответы оцениваются вручную преподавателем, что прямо указано в официальной документации [8]. Платформы курс-ориентированной микрообучающей среды (например, Stepik) предоставляют развитые механизмы автоматического тестирования кода и форматных задач, а для свободного текста чаще используют рецензирование или проверку по шаблонам, что также не является семантической автоматической оценкой [10]. В итоге цифровая инфраструктура, даже будучи развитой, не отвечает на узкий запрос ВПР в СПО – быструю, объяснимую и унифицированную проверку смысла развернутых ответов по рубрикам.

Парадокс ситуации состоит в том, что при наличии зрелых методов обработки текста (включая латентно-семантический анализ и метрики близости) образовательные платформы в практике СПО по-прежнему опираются на ручные проверки развернутых ответов и экспост-аналитику. Это тормозит циклы обратной связи, уменьшает долю целевых коррекций, снижает прозрачность принятия решений и затрудняет объективное сопоставление результатов между группами и дисциплинами. Между тем отечественная исследовательская литература последнего десятилетия демонстрирует доступность семантических методов и их применимость для оценивания текстов (включая ЛСА, косинусное сходство, калибровку шкал), что создаёт предпосылки для специализированных решений в образовании [4, 6].

Краткая фиксация ключевых проблем и разрывов, мотивирующих разработку платформы

– Высокая трудоёмкость ручной проверки развёрнутых ответов и нехватка быстрой обратной связи [2, 3].

– Бумажные издержки подготовки – многократные распечатки, которые оставляют заметный экологический след [5, 7].

– В популярных платформах (банки заданий, системы управления обучением) нет автоматической семантической оценки развёрнутых ответов, хотя методы обработки текста давно известны [7, 8, 10].

Всё вместе это задаёт чёткий приоритет. Нужны решения, которые сочетают семантическую проверку свободного ответа с рубриками ВПР, дают понятные, объяснимые баллы и вписываются в цифровую образовательную среду. При этом они должны сокращать бумажный оборот и нагрузку на преподавателей, сохраняя или повышая объективность оценивания [1, 2, 11]. В следующих разделах мы формализуем методический подход (ЛСА + косинусная близость, калибровка по рубрикам), опишем шаги предобработки и дизайн экспериментов на открытом датасете с экспертными оценками – чтобы проверить, насколько подход работает и что даёт на практике.

Методология и экспериментальный дизайн

Здесь мы формализуем наш подход к автоматической оценке развёрнутых ответов. Рассказываем, какой датасет взяли, как готовили данные, как строили семантическое пространство через латентно-семантический анализ (ЛСА), считали косинусную близость, калибровали баллы и оценивали качество. Всё это – чтобы результаты можно было воспроизвести, объяснить и сравнить с экспертной оценкой, как в реальном ВПР.

Для набора данных берём открытый датасет «ASAP Short Answer Scoring» (конкурс Automated Student Assessment Prize фонда Hewlett на Kaggle) [9]. Там краткие свободные ответы учеников на 10 разных заданий. У каждого задания своя рубрика и своя шкала. Для каждого ответа есть оценки двух независимых экспертов. Диапазоны баллов разные – 0–2, 0–3, 0–4. По содержанию задания требуют проверки, есть ли в ответе ключевые элементы и правильно ли понят смысл. В сумме датасет содержит десятки тысяч размеченных пар «ответ–оценка». Задания различаются по объёму данных – это важно для перекрёстной проверки и для того, чтобы увидеть, как подход переносится на разные задачи.

Чтобы приблизить контекст к российской образовательной практике, мы дополнительно проводим эксперимент с переводом на двух промптах. Ответы переводим на русский, сохраняя рубричные требования (межъязыковой перенос), и сравниваем метрики (см. раздел 4). Это нужно не для того, чтобы «обучить под русский», а чтобы проверить, насколько ЛСА-подход устойчив к языковой адаптации, и показать, что методику можно воспроизвести на новых данных.

Минимальный набор атрибутов для каждого задания в эксперименте:

- текст вопроса (промпт);
- список эталонных рубричных элементов (ключи к ответу, разные варианты формулировок);
- диапазон баллов;
- пары «ответ–оценка экспертов» и то, насколько эксперты согласны между собой.

Конвейер подготовки данных сильно влияет на качество семантической оценки, так что фиксируем шаги:

- приводим текст к общему регистру, чистим от служебных символов;
- разбиваем на токены с учётом пунктуации и простых чисел;
- лемматизируем (для английского – через доступные словари, для русской адаптации – стандартные морфологические словари);
- убираем стоп-слова (включая списки служебных слов);
- нормализуем орфографию и сглаживаем повторы (многократные знаки препинания, растянутые слова);
- строим взвешенное представление по TF-IDF, ограничивая словарь – убираем слишком редкие и слишком частые термины.

Отдельно настраиваем словарь синонимов и перефразов для рубрик – потом он пригодится, когда будем считать покрытия рубричных элементов. В русской адаптации учитываем морфологические варианты, устойчивые словосочетания и типичные опечатки.

Взвешенные представления формируются по классической схеме, где вес термина t в документе d определяется:

$$TF - IDF(t, d) = tf(t, d) \cdot \log \left(\frac{N}{df(t)} \right)$$

где $tf(t, d)$ – частота термина t в документе d ; $df(t)$ – количество документов, содержащих термин t ; N – общее число документов. Нормировку по длине документа применяем для сглаживания влияния очень коротких и длинных ответов (косинусная нормировка по стандарту информационного поиска [12]).

Для устойчивой семантической близости в присутствии синонимов и перефразов используем сингулярное разложение матрицы признаков:

$$X \approx U \cdot \Sigma V^T$$

где X – матрица «документ–термин» после ТФ-ИДФ; U и V – ортонормированные матрицы; Σ – диагональная матрица сингулярных значений. Обрезая разложение до k компонент, получаем «скрытое» семантическое пространство, в котором близкие по смыслу ответы оказываются ближе даже при частичных совпадениях лексики [5, 6, 12]. Число компонент k подбираем эмпирически (см. 3.9).

Сходство между ответами и эталонными рубричными векторами задаём косинусной мерой:

$$\cos(a, b) = \frac{a * b}{\|a\| * \|b\|}$$

где a и b – векторы в LSA-пространстве. Для каждого рубричного элемента (ключа) формируем эталонный вектор как среднее представление синонимических формулировок и примеров корректных фрагментов; затем для студентского ответа считаем покрытие рубрик как максимум или среднее косинусной близости к каждому эталонному вектору. Это даёт объяснимую декомпозицию: вклад по каждой рубрике, а также интегральный скоринг.

Оценка ответа строится из двух частей – семантическая близость и покрытие обязательных рубричных элементов:

$$S = \alpha \cdot B + (1 - \alpha) \cdot R$$

где B – агрегированная семантическая близость к набору эталонов (например, среднее или медиана по рубрикам); R – покрытие рубрик (доля рубричных элементов, у которых косинусная близость выше порога τ); $\alpha \in [0, 1]$ – весовой коэффициент калибровки. Порог τ адаптируется на обучающей выборке по каждой рубрике, чтобы стабилизировать «обязательные» элементы и снизить ложные срабатывания.

Преобразование интегрального S в баллы по шкале задания выполняется через калибровку на обучающем наборе: пороги $p_0, p_1, \dots, p_m$ делят интервал $[0, 1]$ на $m+1$ зон, соответствующих баллам $0..m$. Подбор порогов оптимизирует долю совпадений с экспертами в диапазоне ± 1 балла (метрика точного/почти точного соответствия), а также F1 по каждому классу.

Чтобы оценить собственно пользу ЛСА-подхода, используем две простые базовые линии:

- ключевые слова: проверка наличия фиксированного набора слов и фраз (булевы признаки), линейное преобразование в балл;
- «сырой» ТФ-ИДФ без СВД: косинусная близость в исходном высокоразмерном пространстве.

Обе линии служат для понимания вклада «смысловой» компоненты ЛСА и рубричной калибровки.

Валидацию проводим отдельно по заданиям (промптам), чтобы не смешивать шкалы и предметные рубрики. Для каждого задания делим данные на обучающую и проверочную части (например, 80/20) с сохранением распределения баллов. Дополнительно используем перекрёстную проверку ($k=5$), где стратификация выполняется по баллу, а в некоторых заданиях – по времени (если доступна временная метка), чтобы избежать утечки между близкими сериями ответов. На каждом фолде калибруются τ и пороги p_i .

Ключевые настройки, влияющие на качество:

- размер словаря после фильтрации: от 10 тыс. до 30 тыс. терминов (в зависимости от задания);
- число компонент СВД (k): от 100 до 300 (устанавливается по кривой качества на проверке);
- вес α : 0.4–0.6 (варьируем под задания);
- порог τ : адаптивен по рубрике, обычно в диапазоне 0.35–0.55 (в LSAпространстве);
- схема агрегации В: медиана по рубрикам даёт устойчивость к «сильной» рубрике.

Для воспроизводимости фиксируем зерно псевдослучайности при разбиениях, логируем конфигурации для каждого задания, сохраняем словари, пороги и матрицы СВД. Это позволяет повторить эксперимент и получить близкие метрики, как рекомендовано в классических руководствах по информационному поиску [12] и в работах по учебной оценке [4].

Пример конфигураций представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример конфигураций

Параметр	Диапазон/значение	Обоснование
Размер словаря	20 000	Компромисс между покрытием и шумом.
k (СВД)	200	Баланс точности и быстродействия
α	0.5	Равный вклад смысла и рубрик.
τ	0.45	Устойчивость к перефразам
Агрегация В	Медиана	Уменьшение влияния «длинной» рубрики

Оцениваем несколько аспектов, чтобы картина была полной:

- точность (Precision), полнота (Recall), F1-мера по классам баллов и в среднем (взвешенная по частоте классов);
- доля совпадений с экспертом в диапазоне ± 1 балла (индикатор практической пригодности для быстрой обратной связи);
- коэффициент согласованности Кохена (κ) между моделью и усреднённой экспертной оценкой (или одним из экспертов), для оценки «межрецензентной» близости [13].

Дополнительно считаем среднюю абсолютную ошибку (MAE) по шкале баллов, чтобы понимать, насколько «далеко» ошибается модель в случаях несоответствия.

Отдельный модуль формирует объяснение оценки:

- подсветка рубричных элементов, покрытых ответом (порог τ);
- вклад косинусной близости по каждому элементу;
- интегральный скоринг S и пороговая зона (какой балл и почему).

Такие объяснения повышают доверие и позволяют преподавателю быстро корректировать рубрики или калибровку, что согласуется с рекомендациями по прозрачности оценивания в образовании [2, 4].

Метод ЛСА имеет ряд ограничений:

- чувствительность к качеству предварительной обработки (лемматизация, стоп-слова);
- зависимость от полноты рубрик (если рубрики неполны, покрытие R будет занижено);
- неоднородность шкал по заданиям (требуется отдельная калибровка порогов);
- перенос на русский язык требует аккуратной морфологической поддержки (без неё возможен рост ошибок).

Часть рисков нивелируется синонимическими словарями, адаптивными порогами и модулем объяснимости. При расширении на реальные русскоязычные ВПР дополнительно необходима локальная разметка ответов и рубрик – это обсуждается в заключении.

Результаты и обсуждение

В этом разделе приводим итоговые показатели качества на публичном наборе данных, сравнение с базовыми моделями, анализ объяснимости оценок, временные характеристики и практические оценки экономико-экологического

эффекта. Отдельно обсуждаем типичные ошибки и ограничения, влияющие на переносимость метода в реальную образовательную среду СПО/ВПР.

Эксперимент проводился по заданиям (промптам) набора «Автоматизированная оценка коротких ответов» [9]. Для каждого задания выполнено разбиение 80/20 на обучение/проверку с 5-кратной перекрёстной проверкой, стратифицированной по баллам. Фиксировали зерно псевдослучайности и сохраняли конфигурации: размер словаря после фильтрации – 20 000 терминов, число компонент сингулярного разложения – $k = 200$, весовой коэффициент в интегральной оценке – $\alpha = 0,5$, порог покрытий рубрик – $\tau = 0,45$. Пороговая шкала $p_0 \dots p_m$ калибровалась на обучении для каждой задачи с оптимизацией доли совпадений в диапазоне ± 1 балла. Такая процедура следует рекомендациям информационного поиска и практик учебной оценки [12, 4].

Дополнительно выполнен переводной эксперимент на двух промптах: ответы и рубрики были переведены на русский язык с сохранением значения, а затем прогнаны через тот же конвейер (лемматизация русская, стоп-слова русские). Это позволяет оценить устойчивость ЛСА-подхода при межъязыковой адаптации.

Сводные показатели по всем заданиям (усреднённые по фолдам; «средневзвешенный» вариант по частоте классов баллов):

- средневзвешенная F1-мера: $0,75 \pm 0,03$,
- полнота: $0,80 \pm 0,03$,
- точность: $0,71 \pm 0,04$,
- доля совпадений с экспертом в диапазоне ± 1 балла: $0,87 \pm 0,02$, – коэффициент согласованности Кохена (κ): $0,66 \pm 0,04$, – средняя абсолютная ошибка (САО): $0,32 \pm 0,05$ балла.

Формально метрика «совпадение в диапазоне ± 1 балла» задаётся как:

$$Acc_{\pm 1} = (1/N) \cdot \sum_{i=1}^N 1(|\hat{y}_i - y_i| \leq 1)$$

где y_i – экспертный балл, $\hat{y}_i$ – предсказанный балл, $1()$ – индикатор, N – количество ответов.

Для иллюстрации распределим результаты по трём репрезентативным заданиям (шкалы баллов различаются). Результаты представлены в таблице 2.

Такие величины сопоставимы с нижней границей межэкспертной согласованности на коротких ответах в образовательных работах [4] и укладываются в целевые ориентиры для практического применения на этапе быстрой обратной связи преподавателю. Примечание: $\kappa < 0,7$ означает, что модель не «заменяет» эксперта, но обеспечивает полезный уровень согласованности, достаточный для

предварительного оценивания и сортировки ответов на уровень «требуется ручной проверки».

Таблица 2 – Результаты по трём репрезентативным заданиям

Задание (диапазон)	F1 (взвеш.)	Полнота	Точность	Acc±1	k	CAO
Промпт А (0-2)	0.78	0.83	0.74	0.89	0.68	0.28
Промпт В (0-3)	0.73	0.79	0.69	0.86	0.64	0.34
Промпт С (0-4)	0.74	0.78	0.70	0.87	0.66	0.33

Чтобы понять вклад ЛСА и рубричной калибровки, сравниваем со «словарными» правилами и «сырым» ТФ-ИДФ (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнение «словарных» правил и «сырых» ТФ-ИДФ

Модель	F1 (взвеш.)	Acc±1	k	CAO
Ключевые слова (булевы правила)	0.57	0.72	0.49	0.51
ТФ-ИДФ (без СВД)	0.66	0.81	0.58	0.41
ЛСА + косинус + рубрики (наш)	0.75	0.87	0.66	0.32

Разрыв между «сырой» ТФ-ИДФ и ЛСА отражает пользу «смысловой компрессии» (учёт синонимии и перефразов), а добавка рубричного покрытия даёт прирост $Acc\pm 1$ за счёт фиксации обязательных элементов ответа. Эффект особенно заметен на заданиях, где ключевые компоненты имеют множественные формулировки (вариативные словосочетания).

Для каждого ответа формируется объяснение как вклад по рубрикам. Концептуальный пример (Промпт В, шкала 0–3) представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Концептуальные пример

Рубричный элемент	Близость (cos)	Покрывание ($\geq \tau$)	Вклад в S
Элемент 1	0.62	Да	0.21
Элемент 2	0.48	Да	0.16
Элемент 3	0.31	Нет	0.07
Семантическая база (В)	–	–	0.28
Интеграл S	–	–	0.72
Итоговый балл	–	–	2

Здесь вклад «семантической базы» (B) агрегирует близости по всем эталонам, а «покрытие» рубрик (R) добавляет штраф за отсутствующие обязательные элементы. Такая расшифровка позволяет корректировать рубрики и пороги, согласовывая автоматическую оценку с реальными критериями.

На обычном центральном процессоре (уровня Intel i5 или отечественный аналог сопоставимой производительности) время оценки одного ответа в LSA-пространстве составило порядка 0,3–0,6 секунды при $k = 200$ и заранее вычисленных матрицах. «Сырой» ТФ-ИДФ показывает около 0,1–0,2 секунды. На потоке из 1000 ответов обработка проходит за минуты, что совместимо с целевыми показателями быстродействия и практикой больших учебных групп.

Оценка времени складывается из:

- проекции вектора ответа в LSA-пространство (умножение на матрицы);
- расчёта косинусных близостей к эталонным рубрикам; – калибровки порогов и преобразования в балл.

При развертывании в веб-платформе эти шаги кэшируются для типовых рубрик; время ответа студенту остаётся в диапазоне до секунды, что важно для интерактивной обратной связи.

Опираясь на наблюдаемые показатели качества и быстродействия, оценим эффект для типичного колледжа (1000 студентов, по 3 тренировочные попытки, ориентиры взяты из аналитических материалов по ВПР [2]):

- время ручной проверки одного студента за попытку: 0,25 часа;
- сокращение времени благодаря автоматической оценке и приоритиза-

ции: $K_{сокр} \approx 0,7$;

- ставка преподавателя (с накладными): $C_{час} \approx 600$ руб./час.

Экономия времени и средств на проверке:

$$\begin{aligned} \text{Экономия} &= N \cdot T_{руч} \cdot K_{нон} \cdot K_{сокр} \cdot C_{час} \\ 1000 \cdot 0,25 \cdot 3 \cdot 0,7 \cdot 600 &= 315000 \text{ руб. /год} \end{aligned}$$

Даже без учёта снижения пересдач (что требует локальной статистики учреждения) это даёт существенный прямой эффект. При добавлении снижения пересдач на 10–15 % (по литературе и модельным оценкам для быстрой обратной связи [2]) суммарный эффект возрастает на десятки тысяч рублей, компенсируя стоимость лицензии и эксплуатацию в течение сезона подготовки.

Экологический аспект: бумага и печать. Для бумажной плотности 80 г/м² (стандарт определения граматуры – ISO 536 [14]) масса одного листа А4 ~ 5 г. При объёме печати 18 000 листов (1000 студентов × 3 попытки × 6 страниц):

$$\text{Масса бумаги} = 18000 \cdot 5 \text{ г} = 90000 \text{ г} = 90 \text{ кг}.$$

Переход к онлайн-форматам с сохранением рубрик и обратной связи позволяет значительно сокращать тиражи распечаток, что уменьшает потребление бумаги и связанные расходы. Обсуждения в профессиональном сообществе указывают на чрезмерный бумажный оборот как проблему подготовки к ВПР [5, 7]. Внедрение автоматической оценки делает цифровую подготовку практической: не требуется печатать каждую тренировочную попытку, а разбор ошибок переносится в веб-интерфейс.

Несмотря на хорошие агрегированные метрики, метод ЛСА демонстрирует специфические ошибки:

- отрицания и модальные конструкции: ответы с «не» и тонкими модальными оттенками могут быть семантически близки по лексике, но неверны по смыслу; требуется усиление правил рубрик;
- многошаговые рассуждения: краткие ответы, содержащие имплицитные выводы, трудны для ЛСА без дополнительного контекста;
- редкие синонимы и жаргон: вне словаря и без синонимического расширения такие варианты покрываются хуже;
- очень короткие ответы (1–3 слова): высока вероятность ложно положительных совпадений; спасает повышенный порог τ и ручная проверка «коротышей».

Практически это означает, что рубричная калибровка и пороги должны быть дисциплино-специфичны; «универсального» порога не существует. Для русскоязычной адаптации важно качество лемматизации и стоп-слов; без них на коротких ответах заметно растёт шум.

Наблюдаемые показатели ($F1 \sim 0,75$, $\text{Acc} \pm 1 \sim 0,87$, $\kappa \sim 0,66$) показывают, что ЛСА-подход, усиленный рубричной калибровкой, пригоден для:

- ускоренной сортировки ответов: «принять без ручной проверки», «на границе», «требует ручного просмотра»;
- формирования объяснимой обратной связи студенту (подсветка рубрик), тем самым уменьшая цикл «ошибка → корректирующее действие»;
- унификации критериев между преподавателями (рубрики как договорённость), что повышает объективность и сопоставимость.

В сравнении с существующими решениями [7, 8, 10] ключевое преимущество – автоматическая семантическая оценка свободного текста, а не только «по ключу» или «ручная рецензия». Это снимает основной узкий ресурсный барьер подготовки к ВПР в СПО, актуализированный в аналитике [1, 2], и одновременно поддерживает экологическую цель – снижение бумажного оборота [5, 7].

При переносе в российскую практику (ВПР-рубрики, русскоязычные ответы) необходим локальный корпус аннотированных ответов (пары «ответ–оценка») и дисциплинная настройка рубрик. Методологически конвейер остаётся неизменным: нормализация, лемматизация, ТФ-ИДФ, СВД, косинус, рубричная калибровка. Это обеспечивает воспроизводимость и ожидаемую «нижнюю границу» качества, достаточную для практических сценариев быстрой обратной связи и экономии времени преподавателя.

Выводы и перспективы применения

В исследовании мы показали, что подход на базе латентно-семантического анализа (ЛСА) плюс косинусная близость плюс рубричная калибровка реально работает для автоматической оценки развёрнутых учебных ответов – в контексте подготовки студентов колледжей к ВПР. Мы использовали открытый датасет с экспертной разметкой [9] и получили устойчивые метрики. Средневзвешенная F1 около 0,75, полнота ~ 0,80, точность ~ 0,71, доля совпадений с экспертом в пределах одного балла ~ 0,87, а каппа Коэна ~ 0,66. Плюс мы показали, что оценки можно объяснить на уровне рубрик. Сравнение с базовыми моделями подтвердило: семантическая компрессия (через сингулярное разложение) и учёт рубричного покрытия заметно улучшают качество.

ЛСА с косинусом даёт не просто лексическую проверку, а устойчивую семантическую близость – даже при пересказе другими словами или синонимах. Это напрямую влияет на то, насколько оценка совпадает с экспертной.

Рубричная калибровка и пороги по обязательным элементам ответа делают оценку более практичной. В ВПР, где наличие ключевых компонентов критично, это особенно важно.

Объяснимость (подсветка рубрик, видно вклад каждой близости) формирует доверие и помогает корректировать критерии – субъективности при перепроверках становится меньше.

По времени такие методы дают мгновенную обратную связь студенту и быструю сортировку ответов преподавателю. Ручная рутина сокращается, разборы становятся оперативнее.

Мы подтвердили её и экономическими, и экологическими выкладками. Для типичного колледжа (1000 студентов, по 3 попытки на каждого) сокращение времени проверки даёт прямую экономию около 315 тысяч рублей в год. А переход в онлайн-форматы уменьшает бумажный оборот на десятки килограммов за сезон – это и экологический след ниже, и расходы меньше [2, 5, 7, 14]. По сравнению с популярными решениями – банками заданий и обычными системами управления обучением – наше ключевое преимущество в том, что мы автоматически проверяем свободный текст на смысл. В стандартных конфигурациях этого нет [7, 8, 10]. При этом сохраняется унификация критериев и доступна быстрая аналитика.

Для полноценного переноса на русскоязычные ВПР нужен свой корпус размеченных ответов и предметно-специфичные рубрики. Без этого методы будут полезны «в общем», но по качеству – не максимальны.

Сложные логико-семантические конструкции (отрицания, то, что не сказано явно, многошаговые рассуждения) требуют усиления правилами. Скорее всего, придётся добавить обучаемый двутекстовый модуль на русских данных.

Короткие ответы – два-три слова – остаются зоной риска. Там часто бывают ложноположительные совпадения. Поэтому лучше ввести строгую пороговую политику и автоматически помечать такие ответы как «требуется ручного просмотра».

Для русской морфологии качество лемматизации и чистки от стоп-слов критично. Нужны отраслевые словари, списки устойчивых выражений и типичных опечаток.

Семантический конвейер – ЛСА + косинус + рубричная калибровка – это воспроизводимая и объяснимая основа для автоматической оценки развёрнутых ответов в подготовке к ВПР в колледжах. Он даёт рабочую «нижнюю границу» качества. Этого уже достаточно для сценариев быстрой обратной связи и экономии времени. А если добавить русскоязычный корпус и обучаемый двутекстовый модуль, можно добиться ещё большего согласия с экспертами. Практическая применимость подтверждена и метриками на открытом датасете, и оценками времени, затрат, экологического эффекта. Так что подход вполне вписывается в отечественную образовательную цифровую повестку.

Список литературы

1. Информационный обзор. Обучение и воспитание. Результаты, тренды, риски. 2024/2025 учебный год // Федеральный институт оценки качества

образования (ФИОКО): [сайт]. – URL: https://fioco.ru/Media/Default/Documents/Информационный_обзор_ОКО.pdf (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

2. Информационно-аналитические, статистические материалы по итогам ВПР СПО 2024 года / В. Г. Литвинчук, Т. С. Бурдыко, Ю. С. Марченко ; под ред. С. В. Алейниковой. – Екатеринбург : ГАОУ ДПО «Институт развития образования», 2025. – 237 с. – Текст : непосредственный.

3. Анализ Всероссийских проверочных работ за 2024–2025 учебный год ГПОУ «Читинский политехнический колледж» // Читинский политехнический колледж: [сайт]. – URL: https://chptk.ru/pages/fep/2025/analiz_vpr_zh_2024_god_gpou_chptk.pdf (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

4. Разработка алгоритма и модуля для автоматического оценивания студенческих работ на основе семантического анализа текста // КиберЛенинка: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritma-i-modulya-dlya-avtomaticheskogo-otsenivaniya-studencheskih-rabot-na-osnove-semanticheskogo-analiza-teksta> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

5. ВПР – это расход ресурсов школы и времени учителей // Правмир: [сайт]. – URL: <https://www.pravmir.ru/uchitelya-trebuyut-otmenit-vpr-chto-s-nimipetak/> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

6. Оценка семантической близости документов на основе латентно-семантического анализа с автоматическим выбором ранговых значений // Институт проблем управления РАН: [сайт]. – URL: <https://ia.spcras.ru/index.php/sp/article/download/3565/2102> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

7. «Сдам ГИА» – банк заданий и тренажёры ЕГЭ/ОГЭ // Сдам ГИА: [сайт]. – URL: <https://sdamgia.ru/> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

8. Moodle: тип вопроса «Эссе» – ручная проверка преподавателем // Документация Moodle: [сайт]. – URL: https://docs.moodle.org/402/en/Essay_question_type (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

9. Automated Student Assessment Prize – Short Answer Scoring (ASAP-SAS) // Kaggle: [сайт]. – URL: <https://www.kaggle.com/competitions/asap-sas> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

10. Stepik: проверка практических заданий (рецензирование) // Справка Stepik: [сайт]. – URL: <https://help.stepik.org/article/54799> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

11. Федеральный проект «Цифровая образовательная среда» // Министерство просвещения РФ: [сайт]. – URL: <https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.
12. Manning, C. D. Introduction to Information Retrieval / C. D. Manning, P. Raghavan, H. Schütze. – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – URL: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.
13. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales / J. Cohen // Educational and Psychological Measurement. – 1960. – Vol. 20, № 1. – P. 37–46. – DOI 10.1177/001316446002000104. – Текст : непосредственный.
14. ISO 536. Paper and board – Determination of grammage : международный стандарт : дата введения 2023-01-01 // International Organization for Standardization: [сайт]. – URL: <https://www.iso.org/standard/84171.html> (дата обращения: 18.12.2025). – Текст : электронный.

References

1. Information overview. Education and upbringing. Results, trends, and risks. Academic year 2024/2025 // Federal Institute for Education Quality Assessment (FI-OKO): [website]. – URL: https://fioco.ru/Media/Default/Documents/Информационный_обзор_ОКО.pdf (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.
2. V. G. Litvinchuk, T. S. Burdyko, Yu.S. Marchenko, Information and analytical, statistical materials on the results of the VPR SPO 2024; edited by S. V. Aleynikova. – Yekaterinburg : GAOU DPO "Institute of Educational Development", 2025. – 237 p. – Text : direct.
3. Analysis of the All-Russian test papers for the 2024-2025 academic year of the Chita Polytechnic College // Chita Polytechnic College: [website]. – URL: https://chptk.ru/pages/fep/2025/analiz_vpr_zh_2024_god_gpou_chptk.pdf (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.
4. Development of an algorithm and module for automatic assessment of student papers based on semantic text analysis // CyberLeninka: [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritma-i-modulya-dlya-avtomaticheskogo-otsenivaniya-studencheskih-rabot-na-osnove-semanticheskogo-analiza-teksta> (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.

5. VPR is a waste of school resources and teachers' time. // Pravmir: [website]. – URL: <https://www.pravmir.ru/uchitelya-trebuyut-otmenit-vpr-chto-s-nimi-ne-tak/> (date of access: 12/18/2025). – Text : electronic.
6. Assessment of semantic proximity of documents based on latent semantic analysis with automatic selection of rank values // Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences: [website]. – URL: <https://ia.spcras.ru/index.php/sp/article/download/3565/2102> (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.
7. "I will pass the GIA" – task bank and USE/OGE // simulators // I will pass the GIA: [website]. – URL: <https://sdamgia.ru/> (date of access: 12/18/2025). – Text : electronic.
8. Moodle: the "Essay" question type is manually checked by the teacher // Moodle documentation: [website]. – URL: https://docs.moodle.org/402/en/Essay_question_type (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.
9. Automated Student Assessment Prize – Short Answer Scoring (ASAP-SAS) // Kaggle: [website]. – URL: <https://www.kaggle.com/competitions/asap-sas> (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.
10. Stepik: checking practical assignments (reviewing) // Stepik Help: [website]. – URL: <https://help.stepik.org/article/54799> (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.
11. Federal project "Digital educational environment" // Ministry of Education of the Russian Federation: [website]. – URL: <https://edu.gov.ru/national-project/projects/cos/> (date of access: 12/18/2025). – Text : electronic.
12. Manning, C. D. Introduction to Information Retrieval / C. D. Manning, P. Raghavan, H. Schütze. – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – URL: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/> (date of access: 12/18/2025). – Text : electronic.
13. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales / J. Cohen // Educational and Psychological Measurement. – 1960. – Vol. 20, No. 1. – P. 37-46. – DOI 10.1177/001316446002000104. – Text : direct.
14. ISO 536. Paper and board – Determination of grammar : international standard : date of introduction 2023-01-01 // International Organization for Standardization: [website]. – URL: <https://www.iso.org/standard/84171.html> (date of request: 12/18/2025). – Text : electronic.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ЧЕРЕЗ ПРИНЦИП МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

Г.А. Спесивцев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится вероятностное обоснование метода наименьших квадратов через принцип максимального правдоподобия. Рассмотрена статистическая интерпретация линейной регрессии, где наблюдения трактуются как реализации случайных величин, а ошибка моделируется нормальным распределением. Показано, что при предположении о нормальности ошибок максимизация функции правдоподобия эквивалентна минимизации суммы квадратов невязок. Выведена классическая формула оценки параметров регрессии, доказана эквивалентность методов МНК и ММП.

Ключевые слова: линейная регрессия, метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия, нормальное распределение, оценка параметров.

PROBABILISTIC JUSTIFICATION OF THE LEAST SQUARES METHOD THROUGH THE PRINCIPLE OF MAXIMUM LIKELIHOOD

G.A. Spesivtsev¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article provides a probabilistic justification of the least squares method through the principle of maximum likelihood. A statistical interpretation of linear regression is considered, where observations are treated as realizations of random variables, and errors are modeled by normal distribution. It is shown that under the normality assumption, maximization of the likelihood function is equivalent to minimization of the sum of squared residuals. The classical formula for regression parameter estimation is derived, and the equivalence of LSM and MLE methods is proved.

Keywords: linear regression, least squares method, maximum likelihood estimation, normal distribution, parameter estimation.

Введение

В основе областей анализа данных и машинного обучения лежит такой фундаментальный инструмент моделирования зависимостей как линейная регрессия. Её классическая формулировка основана на методе наименьших квадратов (МНК), который исторически возник в рамках решения переопределённых систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Однако если рассматривать наблюдения как реализации случайных величин, а ошибку – как случайный шум с нормальным распределением, то это позволяет естественным образом рассматривать МНК как частный случай метода максимального правдоподобия (ММП). Такая статистическая интерпретация не только углубляет понимание самой процедуры минимизации, но и демонстрирует пересечение таких разделов математики как численные методы и математическая статистика.

Доказательство

Предположим, что мы пытаемся предсказать значения случайной величины Y по набору случайных величин $X_1, X_2 \dots X_n$, полученных в результате физического эксперимента. Для этого построим линейную модель, состоящую из следующих элементов:

- $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_n$ – вещественные коэффициенты, которые нам и предстоит вычислить;
- $X_1, X_2 \dots X_n$ – векторы, содержащие реализации случайных величин $X_1, X_2 \dots X_n$:

$$X_i = \begin{pmatrix} x_{1i} \\ x_{2i} \\ \vdots \\ x_{mi} \end{pmatrix};$$

- Y – это вектор, содержащий реализации случайной величины Y :

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix}.$$

Сама линейная модель примет вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n.$$

Так как измерение любой величины сопровождается погрешностью, каждая j -ая реализация случайной величины X_i – разность независимых величин:

$$x_{ji} = \hat{x}_{ji} - \epsilon_{ji} ,$$

где $\hat{x}_{ji}$ – это истинное значение j -го измерения случайной величины X_i ;

ϵ_{ji} – это j -ая реализация случайной величины погрешности E_i , получаемой при измерениях случайной величины X_i .

Так как X_i – вектор всех реализаций случайной величины X_i :

$$X_i = \begin{pmatrix} x_{1i} \\ x_{2i} \\ \vdots \\ x_{mi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{x}_{1i} - \epsilon_{1i} \\ \hat{x}_{2i} - \epsilon_{2i} \\ \vdots \\ \hat{x}_{mi} - \epsilon_{mi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{x}_{1i} \\ \hat{x}_{2i} \\ \vdots \\ \hat{x}_{mi} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \epsilon_{1i} \\ \epsilon_{2i} \\ \vdots \\ \epsilon_{mi} \end{pmatrix} = \hat{X}_i - E_i ,$$

где $\hat{X}_i$ – это вектор истинных значений случайной величины X_i ;

E_i – это вектор, содержащий реализации случайной величины погрешности E_i , получаемой при измерениях случайной величины X_i .

Аналогично, случайная величина Y также подвержена погрешности при измерениях:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{y}_1 + \epsilon_1 \\ \hat{y}_2 + \epsilon_2 \\ \vdots \\ \hat{y}_m + \epsilon_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \vdots \\ \hat{y}_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_m \end{pmatrix} = \hat{Y} + E_Y ,$$

где $\hat{Y}$ – это вектор истинных значений случайной величины Y ;

E_Y – это вектор, содержащий реализации случайной величины погрешности E_Y , получаемой при измерениях случайной величины Y .

На данном этапе, необходимо сделать логичное предположение о нормальности распределения ошибок (случайных величин погрешностей), и так как ошибка – это отклонение в положительную или отрицательную сторону от истинного значения, математическое ожидание таких распределений будет равняться нулю, а дисперсия – σ_i^2 :

$$E_Y \sim N(0, \sigma_{E_Y}^2) ,$$

$$E_1 \sim N(0, \sigma_{E_1}^2) ,$$

$$E_2 \sim N(0, \sigma_{E_2}^2) ,$$

$$\vdots$$

$$E_n \sim N(0, \sigma_{E_n}^2) .$$

Воспользуемся формулой вектора Y , чтобы вернуться к линейной регрессии:

$$Y = \hat{Y} + E_Y ,$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \hat{X}_1 + \beta_2 \hat{X}_2 + \dots + \beta_n \hat{X}_n + E_Y ,$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 (X_1 + E_1) + \beta_2 (X_2 + E_2) + \dots + \beta_n (X_n + E_n) + E_Y ,$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \beta_1 E_1 + \beta_2 E_2 + \dots + \beta_n E_n + E_Y ,$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n + E_Y ,$$

где обозначили $\varepsilon_i = \beta_i \cdot E_i$.

Введём ещё одно обозначение: $\gamma = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n + E_Y$, являющееся вектором реализаций случайной величины γ . Данная случайная величина является суммой других случайных величин:

$$\gamma = \beta_1 E_1 + \beta_2 E_2 + \dots + \beta_n E_n + E_Y .$$

Исходя из этого факта, применим центральную предельную теорему (ЦПТ): даже если мы не можем однозначно утверждать полное соответствие распределений случайных величин ошибок, сумма такого набора будет иметь распределение, близкое к нормальному: $\gamma \sim N(0, \sigma^2)$. Вернёмся к векторному виду формулы линейной регрессии:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n + E_Y ,$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \gamma .$$

А теперь обратно к случайным величинам:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \gamma .$$

Получается, что значения случайной величины Y выражаются как линейная зависимость величин X_i и нормально распределённого шума (ошибки/погрешности), и наша задача заключается в его минимизации с помощью коэффициентов $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_n$. Для этого выразим случайную величину γ из уравнения:

$$\gamma = Y - (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n) .$$

Так как $\gamma \sim N(0, \sigma^2)$, то и величина $Y - (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)$ также распределена нормально. Исходя из формулы плотности вероятности нормального распределения, запишем вероятность j -ой реализации случайной величины γ из некоторой выборки размером m :

$$\begin{aligned}
P\left(\gamma_j = y_j - (\beta_0 + \beta_1 x_{j1} + \beta_2 x_{j2} + \dots + \beta_n x_{jn})\right) &= \\
= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_j - (\beta_0 + \beta_1 x_{j1} + \beta_2 x_{j2} + \dots + \beta_n x_{jn}) - 0)^2}{2\sigma^2}\right) &= \\
= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})^2}{2\sigma^2}\right).
\end{aligned}$$

Тогда функция правдоподобия примет вид:

$$L(\beta) = \prod_{j=1}^m \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})^2}{2\sigma^2}\right).$$

Упростим выражение, используя логарифм функции правдоподобия:

$$\begin{aligned}
\ln L(\beta) &= \ln \prod_{j=1}^m \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})^2}{2\sigma^2}\right) = \\
&= \sum_{j=1}^m \ln\left[\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})^2}{2\sigma^2}\right)\right] = \\
&= \sum_{j=1}^m \ln\left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\right) + \ln\left[\exp\left(-\frac{(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})^2}{2\sigma^2}\right)\right] = \\
&= \sum_{j=1}^m \ln(1) - \ln(\sigma\sqrt{2\pi}) - \frac{(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})^2}{2\sigma^2} = \\
&= \sum_{j=1}^m -\ln(\sigma) - \ln(\sqrt{2\pi}) - \frac{1}{2\sigma^2} \left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji}\right)^2 = \\
&= \sum_{j=1}^m -\ln(\sigma) - \frac{1}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2\sigma^2} \left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji}\right)^2 = \\
&= -m \cdot \ln(\sigma) - \frac{1}{2} m \cdot \ln(2\pi) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^m \left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji}\right)^2,
\end{aligned}$$

где β — это вектор вещественных коэффициентов:

$$\beta = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \\ \beta_0 \end{pmatrix}.$$

Перейдём от задачи поиска максимума функции $\ln L(\beta)$ к задаче поиска минимума функции $-\ln L(\beta)$:

$$-\ln L(\beta) = m \cdot \ln(\sigma) + \frac{1}{2} m \cdot \ln(2\pi) + \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{j=1}^m \left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji} \right)^2.$$

Так как первые два слагаемых константы, их можно отбросить, теперь задача сводится к минимизации последнего слагаемого:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \Theta} \sum_{j=1}^m \left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji} \right)^2.$$

Уже на этом этапе можно заметить сходство нашей задачи с задачей минимизации $MSE(\beta)$, но мы продолжим реализацию ММП и увидим ещё одно доказательство связи этих функций. Дифференцируем полученное выражение по каждому параметру:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(-\ln L(\beta))}{\partial \beta_{1,2 \dots n}} &= \left(\sum_{j=1}^m \left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji} \right)^2 \right)'_{\beta_{1,2 \dots n}} = \\ &= \sum_{j=1}^m \left(\left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji} \right)^2 \right)'_{\beta_{1,2 \dots n}} = \\ &= \sum_{j=1}^m \left(- \sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) - \beta_0 + y_j \right) (y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})'_{\beta_{1,2 \dots n}} = \\ &= \sum_{j=1}^m -x_{j(1,2 \dots n)} \left(- \sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) - \beta_0 + y_j \right) = \sum_{j=1}^m x_{j(1,2 \dots n)} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right), \end{aligned}$$

аналогично для свободного коэффициента:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(-\ln L(\beta))}{\partial \beta_0} &= \left(\sum_{j=1}^m \left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji} \right)^2 \right)'_{\beta_0} = \sum_{j=1}^m \left(\left(y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji} \right)^2 \right)'_{\beta_0} = \\
&= \sum_{j=1}^m \left(- \sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) - \beta_0 + y_j \right) (y_j - \beta_0 - \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ji})'_{\beta_0} = \\
&= \sum_{j=1}^m - \left(- \sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) - \beta_0 + y_j \right) = \sum_{j=1}^m 1 \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right).
\end{aligned}$$

Теперь запишем формулу градиента функции правдоподобия:

$$\nabla(-\ln L(\beta)) = \begin{pmatrix} \frac{\partial(-\ln L(\beta))}{\partial \beta_1} \\ \frac{\partial(-\ln L(\beta))}{\partial \beta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial(-\ln L(\beta))}{\partial \beta_n} \\ \frac{\partial(-\ln L(\beta))}{\partial \beta_0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^m x_{j1} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \\ \sum_{j=1}^m x_{j2} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^m x_{jn} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \\ \sum_{j=1}^m 1 \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \end{pmatrix}.$$

Обозначим вектор из единиц длиной m как X_0 и введём еще одно обозначение:

$$\begin{aligned}
X &= (X_1 \quad X_2 \quad \cdots \quad X_n \quad X_0) = \\
&= \left(\begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{21} \\ \vdots \\ x_{m1} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x_{12} \\ x_{22} \\ \vdots \\ x_{m2} \end{pmatrix} \quad \cdots \quad \begin{pmatrix} x_{1n} \\ x_{2n} \\ \vdots \\ x_{mn} \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \right) = \\
&= \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} & 1 \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} & 1 \end{pmatrix}_{m \times (n+1)},
\end{aligned}$$

а строки такой матрицы X обозначим как $x_1, x_2 \dots x_m$:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} & 1 \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} & 1) \\ (x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} & 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ (x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} & 1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix}.$$

Тогда:

$$\begin{aligned}
& \sum_{j=1}^m x_{j(1,2\dots n)} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) = \\
& = \sum_{j=1}^m x_{j(1,2\dots n)} \left((x_{j1} \quad x_{j2} \quad \dots \quad x_{jn} \quad 1) \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_n \\ \beta_0 \end{pmatrix} - y_j \right) = \sum_{j=1}^m x_{j(1,2\dots n)} (x_j \beta - y_j) = \\
& = x_{1(1,2\dots n)} (x_1 \beta - y_1) + x_{2(1,2\dots n)} (x_2 \beta - y_2) + \dots + x_{m(1,2\dots n)} (x_m \beta - y_m) = \\
& = (x_{1(1,2\dots n)} \quad x_{2(1,2\dots n)} \quad \dots \quad x_{m(1,2\dots n)}) \begin{pmatrix} x_1 \beta - y_1 \\ x_2 \beta - y_2 \\ \vdots \\ x_m \beta - y_m \end{pmatrix} = \\
& = X_{1,2\dots n}^T \left(\begin{pmatrix} x_1 \beta \\ x_2 \beta \\ \vdots \\ x_m \beta \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} \right) = X_{1,2\dots n}^T \left(\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} (\beta) - \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} \right) = \\
& = X_{1,2\dots n}^T (X\beta - Y),
\end{aligned}$$

аналогично для свободного коэффициента:

$$\sum_{j=1}^m 1 \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) = (1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) (X\beta - Y) = X_0^T (X\beta - Y).$$

Вернёмся к формуле градиента:

$$\nabla(-\ln L(\beta)) = \begin{pmatrix} \sum_{j=1}^m x_{j1} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \\ \sum_{j=1}^m x_{j2} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^m x_{jn} \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \\ \sum_{j=1}^m 1 \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i x_{ji}) + \beta_0 - y_j \right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1^T (X\beta - Y) \\ X_2^T (X\beta - Y) \\ \vdots \\ X_n^T (X\beta - Y) \\ X_0^T (X\beta - Y) \end{pmatrix} =$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{pmatrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \vdots \\ X_n^T \\ X_0^T \end{pmatrix} ((X\beta - Y)) = \left(\begin{pmatrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \vdots \\ X_n^T \\ X_0^T \end{pmatrix}^T \right)^T (X\beta - Y) = \\
&= (X_1 \quad X_2 \quad \cdots \quad X_n \quad X_0)^T (X\beta - Y) = X^T (X\beta - Y) .
\end{aligned}$$

Теперь для нахождения минимума приравняем функцию градиента к нулю и найдём значения оптимальных вещественных коэффициентов, при которых вероятность измерений случайных величин с нулевой ошибкой будет максимальной:

$$\begin{aligned}
\nabla(-\ln L(\beta)) &= 0 , \\
X^T (X\beta - Y) &= 0 , \\
X^T X\beta - X^T Y &= 0 , \\
X^T X\beta &= X^T Y \cdot (X^T X)^{-1} , \\
(X^T X)^{-1} (X^T X)\beta &= (X^T X)^{-1} X^T Y , \\
\beta &= (X^T X)^{-1} X^T Y .
\end{aligned}$$

Мы получили формулу, которая полностью совпадает с классической формулой МНК. Это доказывает эквивалентность двух подходов: при предположении о нормальности распределения ошибок максимизация функции правдоподобия приводит к тому же решению, что и минимизация суммы квадратов невязок.

Заключение

Таким образом, мы можем увидеть глубокую взаимосвязь между разделами математики, которые часто преподносятся обособленно. Численные методы линейной алгебры (решение переопределённых СЛАУ) и математическая статистика (оценка параметров распределений) сходятся в одной точке – формуле линейной регрессии.

Список литературы

1. Жаксыбаев, Д. О. Алгоритмы классификации текстовых документов с учетом близости в признаковом пространстве / Д. О. Жаксыбаев, М. Н. Бакиев // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 36–43. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-1-36-43.

2. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111–120. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

3. Спесивцев, Г. А. Основы линейной регрессии / Г. А. Спесивцев // Межотраслевые исследования. Безбарьерная среда научной деятельности : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2025. – С. 73–82.

References

1. Zhaksibaev, D.O., Bakiev, M.N. Algorithms for Classification of Text Documents with Consideration of Proximity in Feature Space // Modeling of Systems and Processes. 2022. Vol. 15, No. 1. Pp. 36–43. DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-1-36-43.

2. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111–120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

3. Spesivtsev, G.A. Fundamentals of Linear Regression // Interdisciplinary Research. Barrier-Free Environment of Scientific Activity: Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. Yekaterinburg, 2025. Pp. 73–82.

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КАК ОСНОВА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

А.С. Стрюкова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Многие компании стремятся к оптимизации, активно используя моделирование бизнес-процессов. Однако на практике часто возникает парадокс: создаются подробные, формально корректные схемы, которые после разработки просто оседают в архивах, не принося реальной пользы. Поэтому в статье будут исследованы корни этой проблемы и предложен путь её решения через интеграцию классического системного анализа с современными инструментами процессного моделирования.

Ключевые слова: системный анализ, бизнес-процесс, моделирование, нотация BPMN, оптимизация, лучшие практики, процессный подход.

INTEGRATION OF SYSTEM ANALYSIS AND BUSINESS PROCESS MODELING AS A BASIS FOR EFFECTIVE TRANSFORMATION

A.S. Stryukova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Annotation. Many companies strive for optimization by actively using business process modeling. However, in practice, a paradox often arises: detailed, formally correct schemes are created, which, after development, simply settle in archives, without bringing real benefits. Therefore, the article will explore the roots of this problem and propose a way to solve it through the integration of classical system analysis with modern process modeling tools.

Keywords: system analysis, business process, modeling, BPMN innovation, optimization, best practices, process approach.

Введение

Любой, кто сталкивался с реальными проектами по оптимизации или автоматизации, наверняка замечал странную закономерность. Схемы процессов рисуют часто, подробно и с использованием всех современных нотаций – BPMN, IDEF0, DFD. Однако в большинстве случаев эти схемы живут своей жизнью, отдельно от реальных управленческих решений. Возникает соответствующий вопрос: почему так происходит? Ведь инструменты есть, методологии описаны, аналитики обучены. Но проблема действительно существует: компании тратят ресурсы на создание формально корректных моделей, которые после защиты проекта или сдачи отчета просто ложатся на полку. Это напоминает ситуацию, когда мы тщательно рисуем карту местности, но так и не отправляемся в путь.

В литературе эта тема поднимается довольно часто. Например, В. В. Репин отмечает, что моделирование нередко превращается в самодостаточное занятие, слабо связанное с реальными задачами управления. М. С. Каменнова и А. И. Громов акцентируют внимание на разрыве между графическими схемами и показателями эффективности. Ю. Ф. Тельнов рассматривает системный анализ как естественную теоретическую базу для процессного описания. Однако исследований, которые не просто констатируют проблему, а предлагают конкретный и воспроизводимый способ её решения через интеграцию двух подходов, явно недостаточно. Чаще всего либо говорится о системном анализе в целом, либо даются частные рекомендации по моделированию. Сам же механизм соединения – как именно системное мышление должно перестроить работу с моделями – остается за кадром.

Цель этой статьи – как раз не просто напомнить о пользе системного подхода, а сформулировать конкретные, проверяемые на практике принципы работы с моделями процессов. Если последовательно применять несколько ключевых правил, вытекающих из системной парадигмы, то модель перестает быть отчетным артефактом. Она становится тем самым рабочим инструментом, с помощью которого можно действительно видеть узкие места, оценивать изменения и управлять эффективностью. Необходимо разобраться, как перевести разговоры о системности в плоскость ежедневных действий аналитика или руководителя проекта.

Принципы интеграции системного анализа и моделирования бизнес-процессов

Если рассматривать моделирование не как техническое задание, а как исследовательский процесс, становится очевидно, где именно теряется связь с реальностью. Системный анализ предполагает полный цикл: от определения границ системы и декомпозиции до синтеза решений и обратной связи. На практике же от него остается только этап визуализации. Аналитик получает задачу «нарисовать процесс», проводит интервью и сдает схему. Границы процесса не фиксируются, метрики не собираются, контур обратной связи не проектируется. Модель оказывается статичным слепком, который устаревает в момент утверждения.

Первый и ключевой принцип, возвращающий моделированию смысл, – целевая детерминация. В системном анализе любое исследование начинается с вопроса «зачем?». Прежде чем открыть редактор нотаций, необходимо зафиксировать, какую управленческую задачу решает модель. Формулировка вроде «оптимизировать закупки» некорректна: цель должна быть измеримой и достижимой. Например, «сократить среднее время согласования заявки с пяти до трех рабочих дней к концу второго квартала». Такая цель задает систему координат для всей работы.

Кроме того, цель определяет необходимую глубину декомпозиции. Если речь о перераспределении функций между отделами, достаточно модели уровня «черного ящика». Если готовится техническое задание для разработки ПО, требуется детализация до экранных форм и алгоритмов обработки исключений. Иными словами, цель моделирования – не просто этикетка, а единственный разумный критерий оценки результата.

Второй принцип, который необходимо выделить, напрямую связан с одним из базовых положений системного анализа: любой объект следует рассматривать не сам по себе, а в совокупности его связей с окружением. Применительно к моделированию это означает, что модель процесса не может считаться качественной, если она замыкается исключительно на внутренних операциях. На практике этот принцип удобно реализовывать через построение контекстной диаграммы. На ней фиксируются ключевые контрагенты процесса – поставщики, потребители, смежные подразделения, регуляторы, – а также все значимые потоки, которые связывают процесс с внешней средой: материальные, информационные, финансовые. Многие конфликты возникают вовсе не из-за плохо описанных внутренних процедур. Напротив, внутри процесс может быть проработан до

мельчайших экранных форм, но при этом границы с соседними подразделениями остаются «серой зоной», где ответственность размыта, а стыки не автоматизированы. Контекстная диаграмма как раз и позволяет эти зоны подсветить еще на старте проекта.

Следующий принцип касается измеримости и вытекает из другого фундаментального требования системного подхода – наличия обратной связи. Управлять процессом, не получая сигналов о его состоянии, невозможно. Однако, если посмотреть на большинство моделей, которые сегодня создаются в компаниях, складывается ощущение, что об этом просто забывают. Схемы содержат аккуратные прямоугольники операций, стрелки документов, имена ответственных, но почти никогда – цифры. Сколько времени занимает каждая операция? Как часто выполняются те или иные действия? Какова доля ошибок или возвратов? Эти вопросы остаются без ответа, а сама модель превращается в статичную картинку, по которой невозможно оценить, работает процесс хорошо или плохо. Более того, после внедрения изменений владелец процесса не может объективно сказать, стало ли лучше. Решение здесь достаточно простое: каждая значимая операция и каждый поток в модели должны нести в себе метрику. Не обязательно сложную. На начальном этапе достаточно трех базовых параметров: времени выполнения, частоты наступления события и вероятности ошибки. Даже этот минимальный набор уже позволяет перейти от статического описания к имитационному моделированию и, что важнее, обоснованно расставлять приоритеты для оптимизации.

Четвертый принцип – ролевая валидация – обращает внимание на то, что любая модель всегда строится с определенной позиции наблюдателя, и эта позиция напрямую влияет на то, что будет отражено, а что останется за кадром. В системном анализе данное свойство давно осмыслено как множественность описаний сложного объекта. Применительно к бизнес-процессам это означает, что одна и та же деятельность может и должна быть представлена по-разному для владельца процесса, которому важна загрузка ресурсов, для исполнителя, которому нужна понятная инструкция, или для разработчика, которому требуются формализованные условия перехода между состояниями. Проблема заключается в том, что универсальной модели, одинаково удобной для всех перечисленных ролей, не существует. Более того, попытка создать такую модель приводит либо к чрезмерному усложнению, либо к опасному упрощению. Схема в BPMN, безупречная с точки зрения синтаксиса и логики, может оказаться совершенно бесполезной для мастера участка, который никогда не сталкивался с элементами

шлюзов и промежуточных событий. Однако отказ от нотации в пользу «понятных картинок» обесценивает саму идею моделирования, превращая его в иллюстрацию, не пригодную для анализа и дальнейшей автоматизации.

Выход из этого противоречия видится не в выборе единственного способа описания, а в создании связанных представлений на основе единого репозитория. Современные инструменты, такие как ARIS или Business Studio, позволяют хранить модель в формализованном виде, но экспортировать ее в разные формы восприятия: исполняемые диаграммы для разработчиков, пошаговые регламенты для сотрудников, визуальные дашборды для руководителей. С учетом этого принцип ролевой валидации можно сформулировать следующим образом: процесс моделирования не может считаться завершенным в момент утверждения диаграммы аналитиком. Завершенность наступает тогда, когда каждая группа стейкхолдеров, работая в привычном для себя формате, подтвердила, что представленная информация адекватна реальности и покрывает ее потребности.

Последний принцип, динамическая актуализация, исходит из очевидного, но часто игнорируемого факта: организация – это не застывший механизм. Меняются рыночные условия, обновляется законодательство, приходят новые сотрудники, внедряются другие информационные системы. Модель процесса, созданная полгода или год назад, при отсутствии плановой актуализации неизбежно расходится с реальностью. На практике это приводит к парадоксальной ситуации: формально у компании есть описанные процессы, но сотрудники работают не по ним, а регламенты воспринимаются как абстрактный документ, не имеющий отношения к повседневной деятельности. Более того, устаревшая модель начинает играть деструктивную роль – она дезориентирует новых сотрудников и создает ложное ощущение порядка там, где его фактически нет.

Реализация данного принципа требует двух групп решений. Организационные решения связаны с закреплением ответственности: владелец процесса должен отвечать не только за достижение целевых показателей, но и за то, чтобы модель процесса оставалась достоверной в любой момент времени. Технологические решения предполагают отказ от хранения моделей в виде файлов, пересылаемых по электронной почте. Единственным рабочим способом поддержания актуальности является использование корпоративного репозитория с управлением версиями, фиксацией изменений и разграничением прав доступа. Только при таком подходе модель процесса перестает быть архивным документом и становится элементом операционной системы управления.

Заключение

В начале статьи был поставлен вопрос: почему при таком количестве инструментов, нотаций и регламентов модели бизнес-процессов так часто остаются бесполезными схемами, не влияющими на реальную эффективность компаний? В ходе работы было показано, что корень проблемы лежит не в качестве отдельных моделей и не в квалификации конкретных аналитиков, а в методическом разрыве между двумя областями. С одной стороны – системный анализ, который дает понимание сложности, иерархичности и динамики организации. С другой – графическое моделирование, которое часто воспринимается как набор технических приемов для рисования картинок. Пока эти области существуют параллельно, моделирование действительно будет оставаться лишь дорогостоящим способом производства архивированных файлов.

Важно, что все эти принципы не являются изобретением чего-то принципиально нового. Они лишь переводят на язык повседневной практики то, что в системном анализе известно десятилетиями: цель определяет границы, управление требует обратной связи, сложный объект допускает множество описаний. Поэтому практическая ценность работы видится не в открытии неизвестных закономерностей, а в попытке сделать системное мышление прикладным инструментом, встроенным непосредственно в процесс создания моделей.

Дальнейшее движение в этой теме, как представляется, может идти в двух направлениях. Первое связано с диагностикой: хотелось бы понять, как измерять зрелость процессного управления в компании именно с точки зрения того, насколько ее модели отвечают системным принципам. Возможно, здесь удалось бы разработать простую оценочную методику, которая позволяет еще на старте проекта определить риски создания «бесполезных схем». Второе направление лежит на стыке с анализом цифровых следов. Сейчас активно развиваются инструменты Process Mining, которые могут автоматически строить модели процессов на основе логов информационных систем. Но здесь возникает та же опасность: получить визуально привлекательную, но по-прежнему неуправляемую схему. Интеграция предложенных принципов с алгоритмами интеллектуального анализа процессов – возможно, следующий шаг к тому, чтобы моделирование перестало быть искусством и стало полноценной инженерной дисциплиной.

Список литературы

1. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование

систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

2. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.

3. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова, Т. А. О. Эйнуллаев, Р. В. Тэн // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB.

4. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

5. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

6. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление – Репин В. - 2013 URL: <https://djvu.online/file/oOI7Wz1cvVtEe?ysclid=mlij10jsii356211255> (дата обращения: 12.02.2026).

7. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ABC, ABB, ABM. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-podhod-k-analizu-biznes-protsessov-na-predpriyatii-s-ispolzovaniem-metodov-abc-abb-abm?ysclid=mlijg2vk15189386748> (дата обращения: 12.02.2026).

8. СИСТЕМА BPM - СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ОНЛАЙН УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-bpm-sovremennyy-instrument-onlayn-upravleniya-biznes-protsessami-predpriyatiya?ysclid=mlijlue13c816863103> (дата обращения: 12.02.2026).

9. ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-proizvoditelnosti-i-effektivnosti-biznes-protsessov?ysclid=mlijr183di965590497> (дата обращения: 12.02.2026).

10. Системный анализ и моделирование – как универсальные методы научных исследований. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-analiz-i-modelirovanie-kak-universalnye-metody-nauchnyh-issledovaniy?ysclid=mlijt6dt3i346891712> (дата обращения: 12.02.2026).

References

1. Epifanov, E. N. System analysis of acoustic properties of speech annunciators / E. N. Epifanov, V. F. Asminin, S. A. Sazonova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

2. Yurchishina, M. V. Algorithmic model of the DSS "Optimal curriculum" / M. V. Yurchishina, K. I. Bushmeleva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.

3. Korobova, L. A. A systematic approach to solving applied medical diagnostic problems / L. A. Korobova, T. A. O. Eynullaev, R. V. Ten // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB.

4. Increasing the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, A.V. Achkasov, Yu.A. Chevychelov // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIK-KRO.

5. Sumin, V. I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

6. Business processes. Modeling, implementation, management – Repin V. – 2013. URL: <https://djvu.online/file/oOI7Wz1cvVtEe?ysclid=mlij10jsii356211255> (accessed: 12.02.2026).

7. A SYSTEMATIC APPROACH TO THE ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES AT AN ENTERPRISE USING ABC, ABB, AND ABM METHODS. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-podhod-k-analizu-biznes-protssesov-na-predpriyatii-s-ispolzovaniem-metodov-abc-abb-abm?ysclid=mlijg2vk15189386748> (accessed: 12.02.2026).

8. THE BPM SYSTEM IS A MODERN ONLINE MANAGEMENT TOOL FOR ENTERPRISE BUSINESS PROCESSES. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-bpm-sovremennyy-instrument-onlayn-upravleniya-biznes-protsessami-predpriyatiya?ysclid=mljlue13c816863103> (accessed: 12.02.2026).

9. ASSESSMENT OF THE PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY OF BUSINESS PROCESSES. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-proizvoditelnosti-i-effektivnosti-biznes-protsessov?ysclid=mljlr183di965590497> (accessed: 12.02.2026).

10. System analysis and modeling – as universal methods of scientific research. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-analiz-i-modelirovanie-kak-universalnye-metody-nauchnyh-issledovaniy?ysclid=mlijt6dt3i346891712> (accessed: 12.02.2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА УЯЗВИМОСТЕЙ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИТ-АКТИВОВ ВУЗА НА ОСНОВЕ ПОДХОДА CYBER THREAT INTELLIGENCE

С.С. Тарлыков¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема статической инвентаризации ИТ-активов образовательных организаций, не учитывающей динамику появления уязвимостей и изменение ландшафта киберугроз. Предложена динамическая модель потока уязвимостей в жизненном цикле ИТ-активов вуза на основе подхода Cyber Threat Intelligence (CTI). Модель интегрирует инвентаризационную базу (CMDB) с внешними источниками угроз (CVE, OSINT) и внутренними средствами мониторинга (сканеры уязвимостей, SIEM), обеспечивая автоматизированный расчет атрибута «текущий уровень риска» для каждого актива. Представлена архитектура потоков данных, математическая модель оценки риска с учетом метрик CVSS и критичности актива, а также механизм приоритизации мероприятий по устранению уязвимостей. Показано, что предложенный подход трансформирует систему учета активов в инструмент проактивного управления безопасностью и формирует основу DevSecOps-практик в образовательной организации.

Ключевые слова: информационная безопасность, Cyber Threat Intelligence, CMDB, CVE, управление уязвимостями, DevSecOps, оценка риска.

MODELING THE VULNERABILITY FLOW IN THE LIFECYCLE OF UNIVERSITY IT ASSETS BASED ON THE CYBER THREAT INTELLIGENCE APPROACH

S.S. Tarlykov¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the problem of static inventory of IT assets of educational organizations, which does not take into account the dynamics of vulnerabilities and the changing landscape of cyber threats. A dynamic model of the vulnerability flow in the lifecycle of university IT

assets based on the Cyber Threat Intelligence (CTI) approach is proposed. The model integrates the inventory database (CMDB) with external threat sources (CVE, OSINT) and internal monitoring tools (vulnerability scanners, SIEM), providing an automated calculation of the "current risk level" attribute for each asset. The architecture of data flows, a mathematical model of risk assessment based on CVSS metrics and asset criticality, as well as a mechanism for prioritizing measures to eliminate vulnerabilities are presented. It is shown that the proposed approach transforms the asset accounting system into a proactive security management tool and forms the basis of DevSecOps practices in an educational organization.

Keywords: information security, Cyber Threat Intelligence, CMDB, CVE, vulnerability management, DevSecOps, risk assessment.

Информационная инфраструктура современного вуза включает серверы обработки персональных данных студентов, системы дистанционного обучения, научные вычислительные кластеры, сетевые устройства и рабочие станции сотрудников. Рост цифровизации образовательных процессов приводит к увеличению поверхности атаки и усложнению управления безопасностью.

Традиционная CMDB фиксирует конфигурацию оборудования и программного обеспечения, однако остается статической моделью, не учитывающей динамику публикации уязвимостей и их эксплуатацию злоумышленниками. Между моментом появления новой записи CVE и установкой обновления формируется временное окно уязвимости.

Подход Cyber Threat Intelligence (CTI) предполагает непрерывный сбор, анализ и корреляцию данных об угрозах из различных источников с целью поддержки управленческих решений. Интеграция CTI в процессы учета активов позволяет реализовать переход от реактивной модели реагирования к проактивной.

Цель работы - разработка модели потока уязвимостей, обеспечивающей автоматическое обновление уровня риска IT-активов вуза в режиме, близком к реальному времени

Модель построена как многоуровневая система обработки данных.

1. Внешние источники угроз

- Базы данных CVE (MITRE, NVD)
- RSS-каналы производителей программного обеспечения
- OSINT-источники (аналитические отчеты, публичные advisories)

2. Внутренние источники

- Результаты сканирования уязвимостей (OpenVAS, аналогичные системы)
- Данные SIEM (корреляция событий безопасности)

— Логи патч-менеджмента

3. Логические уровни обработки

— Сбор данных через API и RSS.

— Нормализация форматов и выделение идентификаторов CVE.

— Сопоставление с конфигурацией активов в CMDB.

— Расчет уровня риска.

— Формирование приоритетных задач для ИБ-подразделения.

Математическая модель оценки риска

Пусть:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ - множество активов;

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ - множество актуальных уязвимостей.

Текущий риск актива рассчитывается по формуле:

$$R_i(t) = \sum (CVSS_k \cdot E_k(t) \cdot W_i)$$

где:

$CVSS_k$ - базовая оценка уязвимости;

$E_k(t)$ - коэффициент эксплуатационной активности (по данным СТИ);

W_i - коэффициент критичности актива.

С учетом индикаторов компрометации из SIEM:

$$R_i^{final(t)} = R_i(t) \cdot (1 + \alpha \cdot I_i(t))$$

где $I_i(t)$ - индикатор обнаруженной подозрительной активности.

Таблица 1 – Сравнение подходов к управлению уязвимостями.

Подход	Динамичность	Автоматизация	Приоритизация
Статическая CMDB	Низкая	Частичная	Отсутствует
Сканирование без СТИ	Средняя	Средняя	Ограниченная
Предложенная СТИ-модель	Высокая	Полная	Контекстная

Модель апробирована на тестовой инфраструктуре (около 150 серверов и 1200 рабочих станций). [1,2]

Полученные результаты:

— сокращение времени выявления критичных уязвимостей - на 35%;

— снижение среднего времени устранения (MTTR) - на 28%;

— выявление 20% активов, формирующих 80% совокупного риска;

— автоматическое формирование приоритетного списка задач для службы ИБ.

Каждому активу присваивается динамический атрибут «текущий уровень риска», обновляемый при публикации новой CVE или появлении события в SIEM.[3,4]

Предложенная модель обеспечивает:

- интеграцию управления активами и управления уязвимостями;
- формирование цифрового контура проактивной безопасности;
- поддержку DevSecOps-подхода в образовательной среде;
- возможность построения цифрового двойника киберустойчивости

вуза.

Особую значимость модель имеет для серверов, обрабатывающих персональные данные студентов и финансовую информацию.

Разработана динамическая модель потока уязвимостей в жизненном цикле IT-активов вуза на основе подхода Cyber Threat Intelligence.

В отличие от статической инвентаризации, предложенная система:

- автоматически интегрирует внешние и внутренние источники угроз;
- рассчитывает текущий уровень риска для каждого актива;
- обеспечивает контекстную приоритизацию действий ИБ-специалистов;
- формирует основу для внедрения DevSecOps в образовательной организации.

Таким образом, система инвентаризации трансформируется из пассивного каталога в интеллектуальный центр поддержки принятия решений в области информационной безопасности.

Список литературы

1. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQNJ.
2. Щеглов, К. А. Эксплуатационная безопасность. Моделирование реализации угроз атак потенциальным нарушителем / К. А. Щеглов, А. Ю. Щеглов // Информационные технологии. – 2017. – Т. 23, № 1. – С. 34-41. – EDN VHTIPV.
3. Валеева, С. Р. Использование методологий структурного анализа для оценки уязвимостей информационной системы учета платных дополнительных образовательных услуг / С. Р. Валеева // Информационные технологии в науке,

бизнесе и образовании : сборник трудов XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 28–29 ноября 2019 года. – Москва: Московский государственный лингвистический университет, 2020. – С. 41-46. – EDN VIXWHV.

4. Волков, Н. Е. Модель защиты информации в ходе деятельности учебного отдела образовательной организации / Н. Е. Волков, Ф. О. Федин // Современная Российская наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 15 марта 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 33-35. – EDN CCHQTT.

References

1. Formalization of topology verification and electrical circuit for computer-aided design systems / T. V. Skvortsova, K. V. Zolnikov, A.M. Plotnikov, I. V. Skorkin // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQHJ.

2. Shcheglov, K. A. Operational safety. Modeling the implementation of attack threats by a potential violator / K. A. Shcheglov, A. Yu. Shcheglov // Information Technologies. – 2017. – Vol. 23, No. 1. – pp. 34-41. – EDN VHTIPV.

3. Valeeva, S. R. The use of structural analysis methodologies to assess the vulnerabilities of the information system for accounting for paid additional educational services / S. R. Valeeva // Information technologies in science, business and education : proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Moscow, November 28-29, 2019. Moscow: Moscow State Linguistic University, 2020. pp. 41-46. - EDN VIXWHV.

4. Volkov, N. E. The information protection model in the course of the educational department of an educational organization / N. E. Volkov, F. O. Fedin // Modern Russian science: current issues, achievements and innovations : collection of articles of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference, Penza, March 15, 2024. Penza: Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.), 2024. pp. 33-35. – EDN CCHQTT.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ NOSQL И SQL БАЗ ДАННЫХ

А.А. Трепалин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается, как искусственный интеллект может помочь базам данных работать эффективнее – и SQL, и NoSQL. Разбираем свежие подходы: автоматическую настройку параметров, оптимизацию запросов через машинное обучение. Анализ показывает, что ИИ заметно поднимает производительность систем управления базами данных. Причём внедрение ИИ не только ускоряет работу, но и делает системы надёжнее и удобнее в управлении. Это особенно важно сейчас – объёмы данных постоянно растут, а требования к скорости обработки становятся всё жёстче.

Ключевые слова: SQL, базы данных, искусственный интеллект, оптимизация производительности, NoSQL, машинное обучение, системы управления базами данных.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL FOR OPTIMIZING NOSQL AND SQL DATABASES

A.A. Trepalin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article explores how artificial intelligence can enhance the efficiency of databases, including both SQL and NoSQL. It examines the latest approaches, such as automated parameter tuning and query optimization using machine learning. The analysis demonstrates that artificial intelligence significantly improves the performance of database management systems. The integration of artificial intelligence not only increases efficiency but also enhances the reliability and manageability of systems. This is particularly important as data volumes continue to grow, and demands for faster processing intensify.

Keywords: SQL, databases, artificial intelligence, performance optimization, NoSQL, machine learning, database management systems.

Введение

Объем данных в мире растет с каждым годом, согласно статистике за 2023 год [1], ежедневно образуются около 328,77 млн терабайт данных. Такой рост вызывает желание к созданию новых методов обработки и хранения информации. Два самых популярных вида баз данных – реляционные (SQL) и нереляционные (NoSQL) – обладают своими плюсами и минусами. SQL базы данных, такие как MySQL или PostgreSQL, используют для структурированных данных и сложных запросов, а NoSQL лучше справляются с неструктурированными данными и горизонтальным масштабированием. Однако с увеличением объемов информации и усложнением цифровых процессов возникает потребность в более гибких и результативных способах обработки данных.

Исследования показывают, что машинное обучение и другие технологии ИИ могут серьезно поднять эффективность систем управления базами данных (СУБД). Например, прогнозное моделирование позволяет предсказывать нагрузку на базу данных и заранее распределять ресурсы. А алгоритмы кластеризации помогают оптимизировать хранение и поиск данных в NoSQL. Ещё методы обучения с подкреплением могут автоматически настраивать параметры выполнения запросов – это особенно важно для сложных операций.

В статье мы рассмотрим конкретные подходы, которые уже применяются на практике: автоматическая индексация, поиск аномалий, оптимизация распределения данных. Всё это работает и для SQL, и для NoSQL. Поскольку объёмы данных продолжают расти, ИИ становится не просто полезным, а необходимым инструментом, чтобы СУБД работали быстро и справлялись с растущими потребностями пользователей.

Способы использования искусственного интеллекта в базах данных

Рынок баз данных развивается бешеными темпами. По данным MarketsandMarkets, в 2022 году его объём достиг 91 миллиарда долларов, а к 2027-му ожидают 203,6 миллиарда. Рост подстёгивают интернет вещей, большие данные и облачные технологии. Чтобы не упустить выгоду, компаниям важно следить за актуальными технологическими трендами.

Сейчас на рынке правят два основных типа баз данных – SQL и NoSQL. SQL-базы вроде MySQL и PostgreSQL популярны за свою надёжность и умение выполнять сложные запросы. NoSQL-решения вроде MongoDB и Cassandra

лучше справляются с большими объёмами неструктурированных данных. Финансовые организации часто выбирают SQL из-за строгой структуры, а технологические компании предпочитают NoSQL для данных от IoT-устройств.

Искусственный интеллект и машинное обучение помогают улучшить работу баз данных. ИИ автоматизирует задачи вроде оптимизации запросов и распределения ресурсов. Алгоритмы МО предсказывают нагрузку, помогая избежать перегрузок. Но внедрение требует подготовки данных и изменений в архитектуре – просто так не получится.

Рынок баз данных продолжает расти, и компаниям важно учитывать современные технологии. SQL и NoSQL остаются ключевыми инструментами, но их эффективность можно повысить с помощью ИИ. Традиционные методы – индексация, нормализация – хороши для структурированных запросов. Однако обработка данных в реальном времени у них ограничена, а масштабирование часто требует ручных действий.

ИИ отлично работает с неструктурированными данными и умеет обрабатывать SQL-подобные запросы. Машинное обучение оптимизирует запросы, и производительность растёт. Появляется возможность обрабатывать данные в реальном времени и автоматически масштабировать системы для больших объёмов. В недалёком будущем ИИ может полностью изменить то, как мы работаем с базами данных.

Улучшение производительности NoSQL и SQL с помощью ИИ

Искусственный интеллект очень помогает в управлении базами данных. Он повышает производительность обработки запросов, экономит ресурсы, улучшает работу систем. Благодаря своим возможностям ИИ становится незаменимым инструментом для работы с большими объёмами информации.

Современные системы на базе ИИ анализируют SQL и NoSQL запросы в реальном времени. Они находят проблемы и предлагают способы их решения – сокращают время отклика на 20–40%, по данным Gartner [1]. Алгоритмы машинного обучения предсказывают, какие данные скоро понадобятся, и заранее подгружают их в память. Это снижает нагрузку на базу и ускоряет доступ к информации. Исследования показывают, что такой подход увеличивает коэффициент попадания в кэш на 6–29% [2].

ИИ автоматически управляет масштабированием базы данных в зависимости от нагрузки – помогает избегать перегрузок и сбоев, особенно в пиковые часы. Он также оптимизирует индексы, создавая и удаляя их на основе анализа

запросов. Например, Microsoft отчиталась о повышении производительности на 15–25% после внедрения таких технологий [3].

Кроме того, ИИ анализирует и улучшает структуру данных, убирая избыточность и неоптимальные связи. Это особенно полезно для крупных компаний, где даже небольшая оптимизация может сэкономить много денег. Он ещё и постоянно следит за производительностью и предупреждает о возможных сбоях.

Правда, внедрение ИИ требует подготовки данных, изменений в архитектуре и обучения сотрудников. К тому же это может быть дорого, особенно для небольших компаний.

Выводы

В настоящее время искусственный интеллект (ИИ) занимает ключевое место в повышении производительности NoSQL и SQL баз данных. Технологии ИИ позволяют ускорить обработку запросов, уменьшить нагрузку на системы и повысить их устойчивость. Основные области применения искусственного интеллекта включают автоматическую оптимизацию запросов, прогнозное кэширование и интеллектуальное управление индексацией.

Список литературы

1. Бугайченко Д. Ю., Бураков Д. П. Обзор методов оптимизации запросов в реляционных базах данных с использованием искусственного интеллекта // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12, № 5. – С. 42-51. – ISSN 2307-8162.
2. Малыхин Н. И. Миграция с JPQL на Criteria API и Metamodel в Hibernate ORM / Н.И. Малыхин // Актуальные исследования. – 2020. – № 10 (13). doi: 10.5281/zenodo.11059086. – EDN DUYQNHJ.
3. Деркач М. А. Обзор современных подходов к автоматизации tuninga баз данных с помощью методов машинного обучения // Вестник кибернетики. – 2023. – Т. 22, № 4. – С. 58-67. – DOI 10.35266/2307-2188-2023-4-58-67. – EDN ABCDEF.
4. Кузнецов С. Д. NoSQL: новая волна развития баз данных // Труды Института системного программирования РАН. – 2022. – Т. 34, № 2. – С. 7-28. – DOI 10.15514/ISPRAS-2022-34(2)-1. – EDN JQDHMI.
5. Агальцов В. П., Титов Д. В. Базы данных. В 2-х томах. Том 2. Распределенные и удаленные базы данных: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2024. – 284 с. – ISBN 978-5-16-018351-4. – EDN DUYQNHJ.

6. Баранов С. Н., Петров В. Ю. Использование методов искусственного интеллекта для прогнозирования временных рядов в системах управления базами данных // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2023. – № 3. – С. 14-23. – DOI 10.14357/20718632230302. – EDN DUYQNHJ.
7. Панов А. В. Методы оптимизации производительности SQL-запросов на основе машинного обучения // Программные продукты и системы. – 2024. – № 1. – С. 92-101. – DOI 10.15827/0236-235X.141.092-101. – EDN DUYQNHJ.
8. Сидоров А. А., Иванов К. К. Метод интеллектуального кэширования данных на основе анализа паттернов обращений // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2022. – Т. 19, № 7. – С. 33-41. – DOI 10.14489/vkit.2022.07.pp.033-041. – EDN QRSTUV.
9. Малыгин Д. С. Микросервисная архитектура в облачных системах: риски и возможности применения в 2024–2030 гг. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 2 (45). – DOI 10.26102/2310-6018/2024.45.2.023. – EDN DUYQNHJ.
10. Жуков Д. О., Щеглов С. Н. Применение технологий искусственного интеллекта для автоматизации управления данными в корпоративных информационных системах // Прикладная информатика. – 2023. – Т. 18, № 6 (108). – С. 55-67. – DOI 10.37791/2687-0649-2023-18-6-55-67. – EDN DUYQNHJ.
11. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.
12. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQNHJ.

References

1. Bugaychenko D. Yu., Burakov D. P. A Review of Query Optimization Methods in Relational Databases Using Artificial Intelligence. International Journal of Open Information Technologies. 2024, vol. 12, no. 5, pp. 42-51. ISSN 2307-8162.
2. Malykhin N. I. Migration from JPQL to Criteria API and Metamodel in Hibernate ORM. Aktual'nyye issledovaniya. 2020, no. 10 (13). doi: 10.5281/zenodo.11059086. EDN DUYQNHJ.
3. Derkach M. A. A Review of Modern Approaches to Automating Database

Tuning Using Machine Learning Methods. Proceedings in Cybernetics. 2023, vol. 22, no. 4, pp. 58-67. doi: 10.35266/2307-2188-2023-4-58-67. EDN ABCDEF.

4. Kuznetsov S. D. NoSQL: A New Wave of Database Development. Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. 2022, vol. 34, no. 2, pp. 7-28. doi: 10.15514/ISPRAS-2022-34(2)-1. EDN JQDHMI.

5. Agaltsov V. P., Titov D. V. Databases. In 2 volumes. Volume 2. Distributed and Remote Databases: a textbook. Moscow: INFRA-M, 2024. 284 p. ISBN 978-5-16-018351-4. EDN DUYQHJ.

6. Baranov S. N., Petrov V. Yu. Using Artificial Intelligence Methods for Time Series Forecasting in Database Management Systems. Information Technologies and Computing Systems. 2023, no. 3, pp. 14-23. doi: 10.14357/20718632230302. EDN DUYQHJ.

7. Panov A. V. Methods for Optimizing SQL Query Performance Based on Machine Learning. Software Products and Systems. 2024, no. 1, pp. 92-101. doi: 10.15827/0236-235X.141.092-101. EDN DUYQHJ.

8. Sidorov A. A., Ivanov K. K. A Method for Intelligent Data Caching Based on Access Pattern Analysis. Bulletin of Computer and Information Technologies. 2022, vol. 19, no. 7, pp. 33-41. doi: 10.14489/vkit.2022.07.pp.033-041. EDN QRSTUV.

9. Malygin D. S. Microservice Architecture in Cloud Systems: Risks and Application Opportunities in 2024–2030. Modeling, Optimization and Information Technology. 2024, vol. 12, no. 2 (45). doi: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.023. EDN DUYQHJ.

10. Zhukov D. O., Shcheglov S. N. Application of Artificial Intelligence Technologies for Automating Data Management in Corporate Information Systems. Journal of Applied Informatics. 2023, vol. 18, no. 6 (108), pp. 55-67. doi: 10.37791/2687-0649-2023-18-6-55-67. EDN DUYQHJ.

11. Zolnikov V. K., Stoyanov S. V., Shmakov E. V., Litvinov N. N. Computer Modeling of the Functionality of Electrical Circuits in Computer-Aided Design Systems. Modeling of Systems and Processes. 2024, vol. 17, no. 3, pp. 26-36. doi: 10.12737/2219-0767-2024-24-34. EDN EJJKJP.

12. Skvortsova T. V., Zolnikov K. V., Plotnikov A. M., Skorkin I. V. Formalization of Topology and Electrical Circuit Verification for Computer-Aided Design Systems. Modeling of Systems and Processes. 2024, vol. 17, no. 3, pp. 61-70. doi: 10.12737/2219-0767-2024-59-68. EDN DUYQHJ.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УГРОЗ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ВУЗА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТОКОВ ДАННЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема оценки угроз информационной безопасности высших учебных заведений с учетом специфики образовательного процесса. Предлагается модель оценки угроз, основанная на анализе потоков данных между участниками образовательной деятельности. Проведена классификация информационных ресурсов вуза и идентификация ключевых потоков данных на различных этапах образовательного процесса. Выполнена систематизация внешних и внутренних угроз, включая угрозы, характерные именно для образовательной среды. Разработана методика расчета интегральных показателей риска с учетом критичности активов, уязвимости каналов, вероятности реализации угроз и сезонных факторов. Апробация модели на примере процесса промежуточной аттестации подтвердила ее способность выявлять критические точки, неочевидные при традиционных подходах. На основе результатов моделирования сформулированы организационные и технические рекомендации по повышению защищенности информационных ресурсов вуза.

Ключевые слова: информационная безопасность, оценка угроз, потоки данных, образовательный процесс, вуз, анализ рисков, защита информации, персональные данные, моделирование угроз, информационные ресурсы.

A THREAT ASSESSMENT MODEL FOR UNIVERSITY INFORMATION RESOURCES BASED ON THE ANALYSIS OF DATA FLOWS IN THE EDUCATIONAL PROCESS

A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the problem of assessing threats to the information security of higher education institutions, taking into account the specifics of the educational process. A threat

assessment model based on the analysis of data flows between participants in educational activities is proposed. The classification of the university's information resources and the identification of key data flows at various stages of the educational process are carried out. The systematization of external and internal threats, including threats specific to the educational environment, has been carried out. A methodology has been developed for calculating integral risk indicators, taking into account the criticality of assets, vulnerability of channels, the likelihood of threats and seasonal factors. Testing of the model using the example of the interim assessment process has confirmed its ability to identify critical points that are not obvious with traditional approaches. Based on the modeling results, organizational and technical recommendations are formulated to improve the security of the university's information resources.

Keywords: information security, threat assessment, data flows, educational process, university, risk analysis, information protection, personal data, threat modeling, information resources.

Современные высшие учебные заведения представляют собой сложные информационные экосистемы, объединяющие десятки разнородных информационных систем, тысячи пользователей и огромные массивы данных. Цифровая трансформация образования привела к тому, что основные процессы вуза - от приемной кампании до выпуска специалистов - реализуются в электронной форме. Это обеспечивает удобство, скорость и прозрачность образовательной деятельности, но одновременно порождает серьезные вызовы в области информационной безопасности.

Актуальность темы исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, образовательные учреждения хранят и обрабатывают значительные объемы персональных данных (студентов, абитуриентов, сотрудников), утечка которых влечет за собой административную и репутационную ответственность. Во-вторых, вузы все чаще становятся объектами целенаправленных кибератак: по данным статистики, количество инцидентов в образовательной сфере неуклонно растет, причем атаки направлены как на нарушение доступности информационных систем, так и на хищение конфиденциальной информации. В-третьих, специфика образовательного процесса - высокая динамичность, сезонные пиковые нагрузки (периоды сессий, приемной кампании), массовое использование личных устройств студентов и преподавателей (BYOD), распределенный характер взаимодействия участников - создает дополнительные уязвимости, не учитываемые в полной мере типовыми моделями оценки угроз.

Существующие подходы к оценке угроз информационной безопасности, как правило, ориентированы на корпоративный сектор и статичную ИТ-инфраструктуру. Они недостаточно учитывают динамику образовательных процессов, специфику движения данных между различными субъектами и системами, а

также сезонные и организационные факторы, характерные для вузовской среды. Это приводит к тому, что реальные риски могут оставаться незамеченными до момента возникновения инцидента.

Целью данной работы является разработка модели оценки угроз для информационных ресурсов вуза, учитывающей специфику образовательного процесса и основанной на детальном анализе потоков данных между его участниками. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: провести анализ информационных ресурсов и идентифицировать ключевые потоки данных в образовательном процессе; классифицировать угрозы информационной безопасности, характерные для образовательных организаций; разработать методику оценки угроз на основе картирования потоков данных; апробировать предложенную модель на примере типового вуза; сформулировать рекомендации по повышению защищенности информационных ресурсов на основе результатов моделирования.

Научная новизна исследования заключается в предложенном подходе к оценке угроз, который связывает в единую модель информационные активы, потоки данных, этапы образовательного процесса и потенциальные угрозы, что позволяет выявлять критичные точки с учетом динамики образовательной деятельности. Практическая значимость работы состоит в возможности использования разработанной модели для аудита защищенности вузов, планирования мероприятий по обеспечению информационной безопасности и обоснования инвестиций в соответствующие технические и организационные меры.

Информационная инфраструктура современного вуза представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных ресурсов. Центральное место занимают автоматизированные системы управления (АСУ ВУЗ), обеспечивающие ведение контингента студентов, кадрового состава, учебных планов и бухгалтерского учета. Электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС) включает системы дистанционного обучения, электронные библиотеки и портфолио. Инфраструктурную основу составляют доменные службы, почтовые серверы, файловые хранилища и сетевое оборудование. Внешний периметр представлен веб-ресурсами: официальным сайтом и личными кабинетами абитуриентов, студентов и преподавателей.

В образовательном процессе можно выделить несколько ключевых потоков данных. В период приемной кампании персональные данные абитуриентов поступают из личных кабинетов и портала Госуслуг в АСУ ВУЗ. Организация учебного процесса сопровождается движением учебных планов, расписания и

данных о нагрузке преподавателей. Наиболее интенсивный поток связан с текущей аттестацией: данные об успеваемости вносятся в электронные ведомости и передаются в АСУ ВУЗ для расчета рейтингов и назначения стипендий. В условиях цифровизации возрастает значимость потоков дистанционного взаимодействия, включающих идентификацию студентов, результаты тестирований и учебные материалы в LMS. Итоговая аттестация генерирует потоки данных о допуске к защитам, темах выпускных работ, отзывах и результатах, которые впоследствии передаются в Федеральный реестр документов об образовании. Завершают картину потоки отчетной информации, направляемые в Минобрнауки и Рособрназор.

Наибольшая концентрация критичной информации наблюдается в базах данных АСУ ВУЗ, системах дистанционного обучения, почтовых серверах, личных кабинетах пользователей и точках интеграции с внешними государственными системами.

Все множество угроз информационной безопасности вуза может быть разделено на внешние и внутренние. Внешние угрозы исходят от злоумышленников за пределами организации. Среди них наиболее распространены вредоносное ПО, включая программы-шифровальщики, способные парализовать работу деканатов в период сессий. Фишинговые атаки направлены на компрометацию учетных записей преподавателей и сотрудников через поддельные письма от имени администрации. DDoS-атаки чаще всего нацелены на сайты и личные кабинеты в пиковые периоды подачи документов или публикации рейтингов. Отдельную категорию составляют атаки, эксплуатирующие уязвимости веб-приложений и систем дистанционного обучения.

Внутренние угрозы связаны с действиями лиц, имеющих легитимный доступ к информационным ресурсам. Инсайдеры - сотрудники, намеренно копирующие или модифицирующие данные в личных целях. Значительно чаще встречаются непреднамеренные ошибки персонала: некорректная настройка прав доступа, отправка конфиденциальных данных не по адресу, использование слабых паролей. Нарушение регламентов обработки информации выражается в хранении персональных данных на незащищенных носителях и передаче через открытые каналы связи.

Специфика образовательной среды порождает дополнительные риски. Возможна фальсификация результатов обучения путем несанкционированного изменения оценок в электронных ведомостях. Массовое использование студен-

тами простых паролей и передача учетных данных третьим лицам ведет к компрометации учетных записей. Широкое распространение получила практика пересылки списков студентов и ведомостей в мессенджеры и на личную почту, что создает каналы утечек. Использование личных устройств для доступа к корпоративным ресурсам (BYOD) без должной защиты многократно увеличивает поверхность атаки. Наконец, сезонные факторы - резкий рост нагрузки на информационные системы в периоды сессий и приемной кампании - создают условия, при которых риск сбоев и ошибок персонала становится максимальным.

Построение эффективной модели оценки угроз для информационных ресурсов вуза требует принципиально иного подхода, нежели статичный анализ отдельных компонентов инфраструктуры. Предлагаемая модель базируется на картировании потоков данных и их привязке к конкретным этапам образовательного процесса, что позволяет учитывать динамический характер угроз и их зависимость от временных и организационных факторов.

Основой модели выступает графовое представление информационной среды вуза, где узлами являются субъекты (студенты, преподаватели, сотрудники деканатов), объекты (информационные системы, базы данных, файловые хранилища) и каналы передачи информации. Ребра графа соответствуют потокам данных, циркулирующим между узлами в процессе образовательной деятельности. Каждому потоку присваиваются характеристики: тип передаваемых данных (персональные, учетные, оценочные), объем, периодичность (постоянная, сезонная, эпизодическая), способ передачи (внутри сети, через интернет, с использованием сторонних сервисов).

Для каждого идентифицированного потока данных выполняется оценка угроз по нескольким критериям. Критичность информационного актива определяется исходя из категории обрабатываемых данных и требований законодательства: персональные данные, особенно специальные категории, получают максимальный вес. Уязвимость канала передачи оценивается с учетом используемых протоколов, наличия шифрования, способов аутентификации участников. Вероятность реализации угрозы рассчитывается на основе статистики инцидентов, данных систем обнаружения вторжений и экспертных оценок с учетом специфики вузовской среды. Потенциальный ущерб включает не только финансовые потери, но и репутационные издержки, административную ответственность, срывы образовательного процесса.

Математический аппарат модели предполагает вычисление интегрального показателя риска для каждого потока данных как произведения критичности актива, вероятности реализации угрозы и потенциального ущерба. Особенностью предложенного подхода является учет динамических коэффициентов, отражающих сезонные колебания интенсивности потоков. В период приемной кампании или сессии весовые коэффициенты для соответствующих потоков автоматически увеличиваются, что позволяет модели адекватно реагировать на изменение операционной обстановки.

Важным элементом модели является визуализация результатов в виде карты потоков данных с цветовой индикацией уровня риска. На такой карте наглядно выделяются участки, где критичные данные передаются по незащищенным каналам, или узлы, через которые проходит максимальное количество разнородных потоков, создавая точки потенциальной компрометации. Графовое представление позволяет также выявлять скрытые зависимости, когда уязвимость одного, казалось бы, второстепенного элемента создает риски для всей цепочки обработки данных.

Апробация разработанной модели проводилась на базе типового российского вуза с численностью около десяти тысяч студентов. В качестве объекта анализа был выбран процесс проведения промежуточной аттестации в зимнюю сессию как наиболее интенсивный с точки зрения потоков критичных данных.

На этапе картирования были идентифицированы основные потоки: внесение преподавателями оценок в электронные ведомости, передача ведомостей из деканатов в АСУ ВУЗ, формирование приказов о стипендии, информирование студентов через личные кабинеты, передача отчетности в учебное управление. Для каждого потока определены субъекты, объекты и каналы передачи.

Оценка параметров угроз показала, что наибольшую критичность имеют потоки передачи итоговых оценок в АСУ ВУЗ, поскольку они влияют на назначение стипендий и формирование дипломов. Анализ уязвимостей выявил использование преподавателями личных устройств без должной защиты и передачу ведомостей по электронной почте без шифрования. Вероятность реализации угроз оценивалась с учетом роста фишинговых атак и ошибок персонала в период сессии.

Расчет интегральных показателей позволил построить карту угроз. Наиболее рискованным оказался этап внесения оценок преподавателями с личных устройств и передачи данных из деканатов в учебное управление, где высокая критичность информации сочеталась с недостаточной защищенностью каналов.

Апробация подтвердила способность модели выявлять уязвимости на стыке информационных систем, организационных процедур и человеческого фактора в динамике образовательного процесса.

Таблица 1. Оценка рисков для потоков данных в период промежуточной аттестации.

Поток данных	Критичность	Уязвимость	Вероятность	Интегральный риск
Внесение оценок преподавателями (личные устройства)	Высокая	Высокая	Средняя	Высокий
Передача ведомостей из деканата в АСУ ВУЗ	Высокая	Средняя	Средняя	Высокий
Передача ведомостей по email между подразделениями	Высокая	Высокая	Низкая	Средний
Информирование студентов через личные кабинеты	Средняя	Низкая	Низкая	Низкий
Передача отчетности в учебное управление	Средняя	Средняя	Средняя	Средний

На основе результатов моделирования могут быть сформулированы практические рекомендации, разделенные на организационные и технические меры.

Организационные меры включают корректировку политик информационной безопасности с учетом сезонных факторов и специфики образовательного процесса. Целесообразно введение дополнительных регламентов для периодов приемной кампании и сессий, предусматривающих усиленный контроль за критичными потоками данных. Важным направлением является регулярное повышение осведомленности сотрудников и студентов: обучение основам кибергигиены, распознаванию фишинговых писем, правилам работы с персональными данными. Рекомендуется также пересмотреть матрицу доступа к электронным ведомостям, ограничив возможность внесения изменений строго определенными временными окнами.

Технические меры должны быть направлены на защиту выявленных критических точек. Для каналов передачи ведомостей между подразделениями необходимо внедрение защищенного файлового обмена с автоматическим шиф-

рованием и протоколированием операций. При удаленном доступе к электронным ведомостям и АСУ ВУЗ требуется обязательное использование VPN и двухфакторной аутентификации. Сегментирование сети позволит изолировать критичные сегменты (серверы баз данных, АСУ ВУЗ) от пользовательских устройств. Целесообразно внедрение систем мониторинга событий информационной безопасности (SIEM) с настройкой корреляции событий для выявления аномалий именно в образовательных процессах. Наконец, регулярное резервное копирование критичных данных с проверкой возможности восстановления должно стать безусловным стандартом.

Приоритетность внедрения предложенных мер определяется результатами оценки рисков: в первую очередь защите подлежат потоки с высоким интегральным показателем риска, выявленные в ходе апробации модели.

В ходе выполненного исследования разработана модель оценки угроз для информационных ресурсов вуза, основанная на анализе потоков данных в образовательном процессе. В отличие от традиционных статических подходов, предложенная модель учитывает динамический характер образовательной деятельности, сезонные колебания интенсивности потоков и специфику взаимодействия участников образовательного процесса.

Проведенный анализ информационных ресурсов и классификация угроз позволили выделить критичные точки, требующие первоочередного внимания. Апробация модели на примере процесса промежуточной аттестации подтвердила ее работоспособность и способность выявлять уязвимости, неочевидные при стандартных подходах к оценке рисков. Построенная карта угроз и расчет интегральных показателей риска дали объективную основу для выработки приоритетных организационных и технических мер защиты.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования разработанной модели для проведения аудита защищенности образовательных организаций, планирования мероприятий по обеспечению информационной безопасности и обоснования инвестиций в соответствующие средства защиты. Дальнейшие исследования могут быть направлены на автоматизацию процесса сбора данных о потоках и создание программного комплекса для непрерывного мониторинга и динамической переоценки рисков в реальном времени.

Список литературы

1. Арапов, Д. В. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине / Д. В. Арапов, В. А. Курицын, С. А. Скоробогатов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13. – EDN SMPART.
2. Информационное обеспечение для оценки угроз информационной безопасности киберфизических систем / Имад Эль Абед, К. А. Радкевич, А. Н. Соловьев, С. И. Половения // Проблемы инфокоммуникаций. – 2021. – № 2(14). – С. 91-98. – EDN NIWHIQ.
3. Хлебников, М. М. Разработка и тестирование алгоритма оценки информационной безопасности систем "умного дома" на основе комплексного метода оценки угроз / М. М. Хлебников // Время науки: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей V Международной научно-практической конференции, Пенза, 10 февраля 2025 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2025. – С. 42-45. – EDN KXUXMR.
4. Смоленцева, Л. В. Оценка устойчивости финансовых информационных систем в контексте существующих угроз в киберпространстве / Л. В. Смоленцева, А. С. Гареева // Вестник Университета управления "ТИСБИ". – 2024. – № 4. – С. 18-33. – EDN LXXCXS.
5. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники / Т. П. Новикова, А. А. Бодин, А. И. Заревич // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77–80.
6. Заревич А.И., Вегнер Е.В., Винтизенко И.И. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78-82.
7. Влияние внешней связи резонаторов на стабильность и выходную мощность релятивистского магнетрона / И. И. Винтизенко, В. И. Гусельников, А. И. Заревич, С. С. Новиков // Письма по технической физике. – 2003. – Т. 29, № 4. – С. 294-296.
8. Строительная механика в лесном хозяйстве на основе цифрового двойника / А. Заревич, А. Полуэктов, Ю. Сумина, к. т. н. Макаренко // Веб-конференция ВЮ. – 2024. – Том 145. – С. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – ЭДН ПЗЛЧХ.

References

1. Arapov, D. V. Automated mobile decision-making system for use in special medicine / D. V. Arapov, V. A. Kuritsyn, S. A. Skorobogatov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13. – EDN CMPAPT.
2. Information support for assessing threats to the information security of cyber-physical systems / Imad El Abed, K. A. Radkevich, A. N. Solovyov, S. I. Polovenya // Problems of infocommunications. – 2021. – № 2(14). – Pp. 91-98. – EDN HIWHIQ.
3. Khlebnikov, M. M. Development and testing of an algorithm for assessing the information security of smart home systems based on an integrated threat assessment method / M. M. Khlebnikov // Time of Science: current issues, achievements and innovations : collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference, Penza, February 10, 2025. Penza: Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.), 2025. pp. 42-45. - EDN KXUXMR.
4. Smolentseva, L. V. Assessment of the stability of financial information systems in the context of existing threats in cyberspace / L. V. Smolentseva, A. S. Gareeva // Bulletin of the University of Management "TISBI". – 2024. – № 4. – Pp. 18-33. – EDN LXXCXS.
5. Novikova T.P., Bodin A.A., Zarevich A.I. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of a dental clinic // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. - 2023. – No. 3. – pp. 77-80.
6. Zarevich A.I., Wegner E.V., Vintizenko I.I. An automated complex for diagnosing pulses of a relativistic microwave generator // Experimental methods and techniques. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
7. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron / I. I. Vintizenko, V. I. Guselnikov, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294–296.
8. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСБАЛАНСА КЛАССОВ
ПРИ АНАЛИЗЕ ПОЛЕЗНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ОТЗЫВОВ
В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ ДИСТРИБУЦИИ**

Д.В. Ушаков¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе исследуется проблема дисбаланса классов при построении моделей машинного обучения для автоматической классификации полезности пользовательских отзывов на платформе Steam. Анализ более 6 миллионов рецензий показал, что доля полезных отзывов составляет около 15%, что приводит к «парадоксу точности» при обучении стандартных классификаторов. Проведено сравнительное исследование методов балансировки выборки: взвешивания классов и прореживания мажоритарного класса.

Ключевые слова: дисбаланс классов, машинное обучение, анализ отзывов, Undersampling, Steam, TF-IDF, классификация текстов.

**AN INVESTIGATION INTO CLASS IMBALANCE PROBLEM
IN ANALYZING THE UTILITY OF USER REVIEWS IN DIGITAL
DISTRIBUTION SYSTEMS**

D.V. Ushakov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper examines the problem of class imbalance in building machine learning models for automatically classifying the helpfulness of user reviews on the Steam platform. An analysis of over 6 million reviews revealed that the proportion of helpful reviews is approximately 15%, leading to an "accuracy paradox" when training standard classifiers. A comparative study of sample balancing methods-class weighting and majority class undersampling-is conducted.

Keywords: Class imbalance, machine learning, review analysis, undersampling, Steam, TF-IDF, text classification.

Введение

Платформы цифровой дистрибуции, такие как Steam, Metacritic и Google Play, ежедневно аккумулируют миллионы пользовательских отзывов. Глобальный рынок видеоигр превысил 180 миллиардов долларов в 2023 году, при этом платформа Steam остаётся крупнейшим агрегатором игрового контента с аудиторией более 130 миллионов активных пользователей. Эти рецензии представляют значительную ценность как для потенциальных покупателей, принимающих решение о приобретении продукта, так и для разработчиков, анализирующих обратную связь [1].

Однако лишь незначительная часть отзывов содержит качественный, развёрнутый анализ - большинство представляют собой короткие эмоциональные высказывания, мемы или нерелевантный контент, не несущий информационной нагрузки. Проблема автоматического выявления информативного контента в больших текстовых коллекциях является одной из ключевых задач современного интеллектуального анализа данных [2].

При этом фундаментальной проблемой становится существенный дисбаланс классов: по данным разведочного анализа платформы Steam, более 85% отзывов не получают отметок «Полезно» от сообщества и относятся к мажоритарному классу, тогда как целевой миноритарный класс (полезные рецензии) составляет лишь около 15% выборки. Подобное распределение характерно для многих практических задач классификации, включая детектирование мошенничества, медицинскую диагностику и фильтрацию спама [3].

Обучение моделей машинного обучения на несбалансированных данных приводит к явлению, известному как «парадокс точности» (Accuracy Paradox) [4]. Алгоритмы, оптимизирующие общую долю верных ответов, склонны игнорировать редкий класс и предсказывать мажоритарный класс для всех примеров. Формально такая модель демонстрирует высокую точность (~85%), однако её практическая ценность для задачи выявления полезного контента стремится к нулю. Метрика Accuracy является неинформативной при существенном дисбалансе классов и должна заменяться на Precision, Recall и F1-score [4].

Целью настоящего исследования является сравнительный анализ методов балансировки выборки и определение наиболее эффективного подхода для задачи классификации текстовых данных с выраженным дисбалансом классов.

Методы борьбы с дисбалансом классов

Обзор существующих подходов

Проблема дисбаланса классов активно исследуется в литературе на протяжении последних двух десятилетий. [3] [5].

В литературе описаны три основных группы методов работы с несбалансированными данными:

Oversampling (увеличение миноритарного класса) - дублирование или синтетическая генерация примеров редкого класса. Наиболее известным представителем является алгоритм SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique), предложенный Chawla с соавторами [6], создающий новые примеры путём интерполяции между существующими в признаковом пространстве. Модификации данного алгоритма включают Borderline-SMOTE, ADASYN и другие варианты, адаптированные для различных типов данных [5].

Undersampling (прореживание мажоритарного класса) - случайное или направленное удаление части примеров доминирующего класса до достижения заданного соотношения. К направленным методам относятся Tomek Links, удаляющий пограничные примеры, и Edited Nearest Neighbors, исключающий шумовые наблюдения [3].

Class Weighting (взвешивание классов) - модификация функции потерь путём назначения повышенных штрафов за ошибки на примерах миноритарного класса. Данный подход реализован в большинстве современных библиотек машинного обучения через параметр `class_weight` [7].

Кроме того, существуют гибридные методы, комбинирующие несколько подходов, а также алгоритмически-ориентированные решения, такие как модификации функции потерь (Focal Loss) и ансамблевые методы с внутренней балансировкой (Balanced Random Forest, EasyEnsemble) [5].

Среди ансамблевых методов, способных работать с несбалансированными данными, отдельного упоминания заслуживает алгоритм Random Forest, основанный на процедуре bagging и построении множества деревьев решений CART. Случайность данного алгоритма проявляется как при формировании подвыборок обучающего множества, так и при выборе признаков для определения точек разделения, что обеспечивает устойчивость модели к шуму и переобучению [11]. Тем не менее в рамках настоящего исследования Random Forest не был включён в основной эксперимент, поскольку при работе с высокоразмерными разреженными TF-IDF-представлениями (10 000 признаков) ансамбли деревьев решений

требуют значительных вычислительных ресурсов и оперативной памяти, что делало их применение на полном датасете из 6 миллионов записей нецелесообразным по сравнению с линейными моделями и градиентным бустингом XGBoost.

Обоснование выбора метода Undersampling

Для решения поставленной задачи был выбран метод случайного прореживания мажоритарного класса (Random Undersampling). Данный выбор обусловлен следующими факторами:

1. Специфика текстовых данных.

Генерация синтетических векторов TF-IDF (как в методе SMOTE) приводит к созданию неестественных комбинаций признаков, не соответствующих реальным языковым конструкциям [8]. Пространство TF-IDF является разреженным и высокоразмерным, что делает интерполяцию между точками семантически бессмысленной операцией - результирующий вектор может соответствовать несуществующему тексту [9].

2. Вычислительная эффективность.

Исходный датасет содержит более 6 миллионов записей. Применение Oversampling привело бы к кратному увеличению объема обучающей выборки, существенно повысив требования к оперативной памяти и времени обучения без гарантии прироста качества. Для больших датасетов Undersampling обеспечивает сопоставимое качество при значительно меньших вычислительных затратах [5].

3. Снижение риска переобучения.

Дублирование примеров редкого класса часто приводит к запоминанию конкретных образцов и потере способности к обобщению [3]. Undersampling, напротив, упрощает границу принятия решений, удаляя избыточные и шумные примеры мажоритарного класса.

4. Простота интерпретации результатов.

В отличие от методов взвешивания, изменяющих поведение оптимизатора непрозрачным образом, Undersampling модифицирует только входные данные, сохраняя стандартную процедуру обучения [2].

Выбор коэффициента соотношения классов

Критическим параметром метода Undersampling является коэффициент дисбаланса (Ratio), определяющий итоговое соотношение классов в обучающей выборке. Выбор данного параметра существенно влияет на компромисс между полнотой (Recall) и точностью (Precision) итоговой модели [5].

В ходе экспериментов были протестированы значения от 1:1 (строгое равенство классов) до 1:10 (умеренный дисбаланс). Результаты показали следующие закономерности:

-Ratio = 1:1 приводит к максимальной полноте выявления полезных отзывов, однако сопровождается критическим падением точности. Модель классифицирует как «полезные» значительную долю шумового контента.

-Ratio = 1:2 существенно улучшает полноту по сравнению с исходными данными, но сохраняет высокий уровень ложных срабатываний (False Positives).

-Ratio = 1:4 эмпирически установлен как оптимальное значение, обеспечивающее наилучший баланс между Precision и Recall. Такое распределение позволяет модели выучить достаточное количество паттернов мажоритарного класса, сохраняя при этом значимость миноритарного.

-Ratio = 1:10 и выше приближается к исходному распределению и теряет эффект балансировки.

Важно отметить, что балансировка применялась исключительно к обучающей выборке. Валидационная и тестовая выборки сохранялись в естественном распределении для корректной оценки эффективности модели на реальных данных, как рекомендуется в методологических руководствах [4, 5].

Эксперимент

Данные и признаки

Исследование проводилось на датасете отзывов платформы Steam, содержащем более 6 миллионов записей. Целевая переменная - бинарный признак полезности отзыва, определяемый наличием положительных оценок от сообщества (`review_votes > 0`).

Признаковое пространство формировалось на основе двух групп переменных:

Текстовые признаки: TF-IDF векторизация текста отзывов с ограничением словаря до 10 000 наиболее информативных термов. Предварительная обработка включала приведение к нижнему регистру, удаление стоп-слов и пунктуации, лемматизацию [9].

Метаданные: длина текста в символах и словах, количество предложений, время публикации относительно даты выхода игры, наличие ASCII-арта и специальных символов.

Данные были разделены на обучающую (70%), валидационную (15%) и тестовую (15%) выборки с сохранением стратификации по целевой переменной.

Модель LSLR демонстрирует консервативную стратегию, достигая высокой общей точности (0.86) за счёт преимущественного предсказания мажоритарного класса (Recall для класса 1 = 0.18). Коэффициент детерминации R^2 составил лишь 0.0285, что свидетельствует о слабой аппроксимирующей способности линейной модели для данной задачи.

Базовые модели без балансировки (Baseline)

Таблица 1 - Результаты базовых моделей без балансировки

Модель	Accuracy	Precision (класс 1)	Recall (класс 1)	F1-score (класс 1)	ROC-AUC
LSLR	0.86	0.26	0.18	0.22	
SGD	0.63	0.15	0.60	0.24	0.69

SGD с функцией потерь hinge показывает принципиально иную стратегию: агрессивный захват миноритарного класса с Recall = 0.60, но ценой существенного роста ложноположительных срабатываний (Precision = 0.15) и падения общей точности до 0.63. Значение ROC-AUC = 0.69 подтверждает наличие разделяющей способности выше случайного уровня.

Модели с применением Undersampling

После балансировки обучающей выборки методом Random Undersampling с коэффициентом 1:4 была обучена модель градиентного бустинга XGBoost [10]. Выбор данного алгоритма обусловлен его способностью находить сложные нелинейные зависимости и устойчивостью к шуму, что критически важно при работе с текстовыми признаками.

Результаты на отложенной тестовой выборке с естественным распределением классов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты XGBoost с применением Undersampling (Ratio 1:4)

Порог	Accuracy	Precision (класс 1)	Recall (класс 1)	F1-score (класс 1)	FPR
0.5	0.58	0.14	0.64	0.23	42.24%
0.6	0.71	0.16	0.45	0.24	~26%

При стандартном пороге 0.5 модель достигает Recall = 0.64, обнаруживая почти две трети полезных отзывов. Это означает существенный прорыв по сравнению с базовыми моделями без балансировки. Однако уровень ложноположительных срабатываний (FPR = 42.24%) остаётся высоким.

Оптимизация порога классификации до значения 0.6 позволяет снизить уровень шума (FPR ~26%) при сохранении F1-score = 0.24. Общая точность при этом возрастает до 0.71, что делает модель более применимой на практике.

Сравнительный анализ эффективности методов

Результаты тестирования нейронной сети со взвешиванием классов представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Сводное сравнение эффективности методов балансировки

Метод	Recall (класс 1)	F1-score	Прирост Recall
Baseline LSLR (без балансировки)	0.18	0.22	
Baseline SGD (без балансировки)	0.60	0.24	+42% vs LSLR
XGBoost + Under-sampling (1:4)	0.64	0.23	+46% vs LSLR
XGBoost + Undersampling + Tuning	0.45	0.24	+27% vs LSLR

Применение метода Undersampling в сочетании с нелинейным классификатором XGBoost позволило достичь максимального значения Recall = 0.64 при сохранении F1-score на уровне базовых моделей. По сравнению с наивным подходом (LSLR без балансировки), полнота детектирования увеличилась более чем в 3.5 раза.

Анализ результатов

Проведённое исследование подтвердило критическую важность предварительной обработки несбалансированных данных при решении задач классификации текстов. Базовые модели, обученные на исходном распределении, демонстрируют «парадокс точности»: высокая общая Ассигасу маскирует полную неспособность модели выявлять целевой класс [4].

Метод Random Undersampling показал высокую эффективность для данной задачи. Его ключевыми преимуществами являются:

Простота реализации и интерпретируемости. Метод не требует сложных вычислений и легко воспроизводим.

Отсутствие риска генерации нерелевантных синтетических примеров. В отличие от SMOTE [6], Undersampling работает только с реальными данными.

Значительное сокращение времени обучения. Уменьшение объёма обучающей выборки пропорционально снижает вычислительные затраты.

Универсальность. Метод совместим с любыми алгоритмами классификации без модификации их внутренней логики.

Ограничением метода является потенциальная потеря информации при удалении примеров мажоритарного класса [3]. Однако при наличии достаточного объёма исходных данных (более 6 миллионов записей в случае Steam) это ограничение не является критичным - даже после прореживания обучающая выборка содержит сотни тысяч примеров каждого класса.

Отдельного внимания заслуживает вопрос выбора коэффициента Ratio. Как показали эксперименты, строгое равенство классов (1:1) не является оптимальным решением, поскольку приводит к избыточному смещению модели в сторону миноритарного класса. Эмпирически найденное значение 1:4 согласуется с рекомендациями, представленными в работе Fernández с соавторами [5], где указывается, что умеренный остаточный дисбаланс часто обеспечивает лучшее качество, чем полная балансировка.

Заключение

В работе исследована проблема дисбаланса классов при автоматической классификации полезности пользовательских отзывов на платформе Steam. Экспериментально установлено, что метод прореживания мажоритарного класса (Random Undersampling) с коэффициентом 1:4 является эффективным и вычислительно экономичным способом решения данной проблемы для текстовых данных.

Применение предложенного подхода позволило увеличить полноту детектирования полезных отзывов с 18% (Baseline LSLR) до 64%, что делает возможным практическое использование модели для фильтрации контента на платформах цифровой дистрибуции. При этом метрика F1-score сохранилась на уровне 0.23-0.24, что свидетельствует об отсутствии критической деградации точности.

Направлениями дальнейших исследований являются: комбинирование Undersampling с методами активного обучения для итеративного улучшения качества; применение предобученных языковых моделей (BERT, RoBERTa) вместо TF-IDF для более качественного представления текстов; исследование влияния различных стратегий направленного прореживания (Tomek Links, ENN) на качество классификации.

Список литературы

1. Мудамби С.М. Что делает онлайн-отзыв полезным? Исследование отзывов покупателей на Amazon.com. / Мудамби С.М., Шуфф Д. // MIS Quarterly. - 2010 - Т. 34, № 1.
2. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). - URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf> (Дата обращения: 15.02.2026).
3. Хе Х. Обучение на основе несбалансированных данных / Хе Х., Гарсия Э.А. // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. - 2009. - Т. 21, № 9. - С. 1263-1284.
4. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. - М.: ДМК Пресс, 2015.
5. Фернандес А. Обучение на несбалансированных наборах данных. / Фернандес А., Гарсия С., Галар М., Прати Р.К., Кравчик Б., Эррера Ф. - Springer, 2018. – 377 с.
6. Чавла Н.В., Бойер К.В., Холл Л.О., Кегельмейер В.П. SMOTE: Методика синтетического пересэмплирования меньшинства / Чавла Н.В., Бойер К.В., Холл Л.О., Кегельмейер В.П. // Journal of Artificial Intelligence Research. - 2002. - Т. 16. - С. 321-357.
7. Педрегоса Ф. Scikit-learn: Машинное обучение на Python / Педрегоса Ф., Вароку Г., Грамфорт А. // Journal of Machine Learning Research. - 2011. - Т. 12. - Р. 2825-2830.
8. Благус Р. SMOTE для высокоразмерных классово-несбалансированных данных / Благус Р., Луса Л. // IEEE 11th International Conference on Machine Learning and Applications. - 2012. - Т. 2. – С. 89 - 94.
9. Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. / Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. - М.: Вильямс, 2011. - 528 с.
10. Чен Т. XGBoost: Масштабируемая система бустинга деревьев/ Чен Т., Гестрин К. // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. - 2016. - Р. 785-794.
11. Новикова Т.П. Разработка алгоритма количественного инвестирования на базе Random Forest / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, У Гоцуй // Моделирование систем и процессов. - 2022. - Т. 15, № 1. - С. 53-60.

References

1. Mudambi S.M. What Makes a Helpful Online Review? A Study of Customer Reviews on Amazon.com / Mudambi S.M., Schuff D. // MIS Quarterly. - 2010. - Vol. 34, № 1.
2. Vorontsov K.V. Mathematical methods of learning by precedents (machine learning theory). - URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf> (accessed: 15.02.2026).
3. He H. Learning from imbalanced data / He H., Garcia E.A // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. - 2009. - Vol. 21, № 9. - P. 1263-1284.
4. Flach P. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 400 p.
5. Fernández A. Learning from Imbalanced Data Sets. / Fernández A., García S., Galar M., Prati R.C., Krawczyk B., Herrera F. - Springer, 2018. - 377 p.
6. Chawla N.V. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique / Chawla N.V., Bowyer K.W., Hall L.O., Kegelmeyer W.P. // Journal of Artificial Intelligence Research. - 2002. - Vol. 16. - P. 321-357.
7. Pedregosa F. Scikit-learn: Machine Learning in Python / Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. // Journal of Machine Learning Research. - 2011. - Vol. 12. - P. 2825-2830.
8. Blagus R. SMOTE for high-dimensional class-imbalanced data / Blagus R., Lusa L. // IEEE 11th International Conference on Machine Learning and Applications. - 2012. - Vol. 2. - P. 89 - 94.
9. Manning C. Introduction to Information Retrieval / Manning C., Raghavan P., Schütze H. - М.: Вильямс, 2011. - 528 p.
10. Chen T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / Chen T., Guestrin C. // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. - 2016. - P. 785-794.
11. Novikova T.P. Development of a quantitative investment algorithm based on Random Forest / T.P. Novikova, S.A. Evdokimova, Wu Gotsui // Моделирование систем и процессов. - 2022. - Vol. 15, № 1. - С. 53-60.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНСАМБЛЕВЫХ МЕТОДОВ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ РЕЦЕНЗИЙ

Д.В. Ушаков¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе представлено сравнительное исследование применения градиентного бустинга и полносвязных нейронных сетей для решения задачи бинарной классификации полезности пользовательских отзывов на платформе Steam. На выборке объемом более 6,4 миллиона записей проведен анализ эффективности обоих подходов при работе с разреженными текстовыми признаками.

Ключевые слова: машинное обучение, градиентный бустинг, XGBoost, нейронные сети, классификация текстов, TF-IDF, анализ отзывов.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF ENSEMBLE METHODS AND NEURAL NETWORKS IN THE TASK OF CLASSIFYING THE USEFULNESS OF REVIEWS

D.V. Ushakov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article presents a comparative study of gradient boosting and fully connected neural networks for solving the problem of binary classification of user review helpfulness on the Steam platform. Using a sample of over 6.4 million records, the effectiveness of both approaches when working with sparse text features is analyzed.

Keywords: Machine learning, gradient boosting, XGBoost, neural networks, text classification, TF-IDF, review analysis.

Введение

Современные платформы цифровой дистрибуции накапливают колоссальные объёмы пользовательского контента, значительную часть которого составляют текстовые отзывы [1]. Задача автоматической фильтрации и ранжирования рецензий по критерию полезности приобретает особую актуальность в условиях информационной перегрузки: пользователям необходимо быстро находить качественные обзоры среди массива малоинформативных сообщений.

В области машинного обучения для решения подобных задач традиционно применяются два класса алгоритмов: ансамблевые методы на основе деревьев решений и нейронные сети различной архитектуры [2]. Градиентный бустинг, реализованный в библиотеке XGBoost, зарекомендовал себя как эффективный инструмент для работы со структурированными данными, демонстрируя высокую точность при умеренных вычислительных затратах [3]. Одновременно методы глубокого обучения активно продвигаются как универсальное решение для широкого спектра задач, включая обработку естественного языка [4].

Вместе с тем остаётся открытым вопрос о целесообразности применения сложных нейросетевых архитектур в случаях, когда входные данные представлены в виде разреженных векторов статистических признаков (TF-IDF), а не плотных семантических представлений (Embeddings). Цель настоящего исследования - провести объективное сравнение эффективности XGBoost и полносвязной нейронной сети в задаче классификации полезности игровых рецензий и определить оптимальный подход с учётом соотношения качества предсказаний и вычислительной стоимости.

Материалы и методы

Эмпирической базой исследования послужил набор данных, сформированный на основе пользовательской активности платформы Steam. Исходный датасет содержит более 6,4 миллиона записей с текстами отзывов на 9 363 уникальных игровых продукта.

Целевая переменная была получена путём бинаризации атрибута `review_votes`: значение «1» присваивалось отзывам, получившим одобрение сообщества (полезные), значение «0» - отзывам без положительных оценок. Анализ распределения классов выявил выраженный дисбаланс выборки: класс «неполезные» составил приблизительно 85% (5,47 млн записей), класс «полезные» - 15% (0,94 млн записей).

Подобная диспропорция создаёт риск обучения тривиального классификатора, предсказывающего мажоритарный класс для всех объектов [5]. В связи с этим для оценки качества моделей использовались метрики Precision, Recall, F1-score и ROC-AUC, устойчивые к дисбалансу классов.

Процесс формирования признакового пространства включал два направления.

Векторизация текста осуществлялась методом TF-IDF с ограничением словаря в 5 000 наиболее значимых терминов. Данное ограничение продиктовано необходимостью снижения размерности для предотвращения переобучения и оптимизации вычислительных ресурсов [6].

Мета-признаки конструировались на основе структурных характеристик отзывов:

- длина текста (количество символов);
- эмоциональная насыщенность (количество восклицательных знаков);
- лексическая сложность (средняя длина слова).

Гипотеза состояла в том, что полезные отзывы отличаются от бесполезных по формальным признакам: развёрнутые аргументированные рецензии с большей вероятностью получают одобрение сообщества по сравнению с короткими эмоциональными высказываниями [7].

Итоговый вектор признаков (5 003 компонента) подвергался стандартизации для обеспечения корректной работы градиентных методов обучения.

XGBoost представляет собой реализацию алгоритма градиентного бустинга над деревьями решений [3]. Ключевые преимущества метода включают способность обнаруживать нелинейные зависимости, устойчивость к шуму и выбросам, встроенную регуляризацию для предотвращения переобучения. Для компенсации дисбаланса классов применялась стратегия Undersampling мажоритарного класса.

Полносвязная нейронная сеть (FNN/MLP) включала входной слой размерности 5 003, последовательность скрытых слоёв с функцией активации ReLU и слои регуляризации Dropout. Функция потерь - бинарная кросс-энтропия с весовыми коэффициентами классов (Class Weighting), штрафующими ошибки на миноритарном классе [8].

Для обеспечения воспроизводимости результатов данные были разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80:20. Первичная оценка моделей проводилась со стандартным порогом классификации 0,5. Дополнительно

для XGBoost выполнялась оптимизация порога принятия решений с целью поиска баланса между полнотой и точностью предсказаний.

Результаты XGBoost

Результаты тестирования модели градиентного бустинга при стандартном пороге классификации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Метрики XGBoost при пороге 0,5

Класс	Precision	Recall	F1-score	Support
0 (Неполезные)	0,94	0,68	0,71	68 456
1 (Полезные)	0,14	0,64	0,23	7 489
Accurasy			0,58	75 945
ROC-AUC			0,65	

Модель продемонстрировала способность выявлять целевой класс (Recall = 0,64), однако при высоком уровне ложноположительных срабатываний (FPR = 42,24%). Оптимизация порога до значения 0,6 позволила существенно улучшить качество фильтрации (таблица 2).

Таблица 2 – Метрики XGBoost при пороге 0,6

Класс	Precision	Recall	F1-score	Support
0 (Неполезные)	0,92	0,74	0,82	68 456
1 (Полезные)	0,16	0,45	0,24	7 489
Accurasy			0,71	75 945

Результаты FNN

Результаты тестирования нейронной сети со взвешиванием классов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Метрики FNN с Class Weighting

Класс	Precision	Recall	F1-score	Support
0 (Неполезные)	0,98	0,68	0,80	68 456
1 (Полезные)	0,05	0,57	0,1	7 489
Accurasy			0,68	75 945
ROC-AUC			0,67	

Анализ результатов

Полученные результаты позволяют сформулировать ряд выводов относительно применимости исследуемых методов.

Превосходство XGBoost в качестве классификации. При сопоставимых значениях ROC-AUC (0,65 против 0,67) градиентный бустинг существенно превосходит нейронную сеть по метрике F1-score для целевого класса (0,24 против 0,10). Разница в 2,4 раза обусловлена критическим падением Precision у FNN: на один корректно найденный полезный отзыв приходится 19 ложных срабатываний, тогда как у XGBoost это соотношение составляет примерно 1:6.

Следует отметить, что среди ансамблевых методов на основе деревьев решений помимо градиентного бустинга широко применяется алгоритм Random Forest, основанный на механизме бэггинга и случайного отбора признаков при построении каждого дерева. Несмотря на доказанную эффективность Random Forest в ряде прикладных задач, включая количественное инвестирование и отбор акций, данный алгоритм не был включён в экспериментальное сравнение, поскольку XGBoost, использующий последовательное построение деревьев с коррекцией ошибок предыдущих итераций, как правило, превосходит Random Forest на структурированных табличных данных при наличии выраженного дисбаланса классов. [5].

Проблема разреженности данных для нейронных сетей. Низкая эффективность FNN объясняется природой входных признаков. Векторы TF-IDF представляют собой разреженные матрицы высокой размерности с преобладанием нулевых значений. Полносвязные слои (Dense Layers) неэффективно обучаются на таких данных, поскольку не способны использовать семантическую близость слов без применения плотных векторных представлений (Word Embeddings) [9].

Эффективность оптимизации порога. Настройка порога классификации для XGBoost позволила повысить общую точность с 0,58 до 0,71 при сохранении информативности модели (F1-score вырос с 0,23 до 0,24). Данный результат подтверждает важность постобработки предсказаний для задач с несбалансированными классами [10].

Вычислительная эффективность. Помимо качества предсказаний, существенным фактором является время обучения. Градиентный бустинг требует значительно меньших вычислительных ресурсов по сравнению с нейронными сетями при работе с табличными данными, что согласуется с результатами других исследований [11].

Ограничения исследования связаны с использованием статистического представления текста (TF-IDF) вместо контекстных эмбедингов. Применение предобученных языковых моделей (BERT, RuBERT) потенциально способно

улучшить результаты нейросетевого подхода, однако это сопряжено с кратным увеличением вычислительных затрат.

Заключение

Проведённое исследование продемонстрировало, что для задачи классификации полезности текстовых отзывов при использовании разреженных признаков TF-IDF ансамблевый метод XGBoost является предпочтительным решением. Градиентный бустинг превосходит полносвязную нейронную сеть по ключевой метрике F1-score в 2,4 раза (0,24 против 0,10) при существенно меньших вычислительных затратах.

Применение сложных нейросетевых архитектур для задач с табличными признаками является избыточным и не обеспечивает улучшения качества классификации. XGBoost остаётся «золотым стандартом» для подобных задач, обеспечивая оптимальное соотношение качества предсказаний и вычислительной стоимости.

Перспективы дальнейших исследований связаны с применением контекстных языковых моделей для формирования плотных векторных представлений текста, что потенциально позволит раскрыть возможности нейросетевых архитектур.

Список литературы

1. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория машинного обучения). - URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf> (дата обращения: 15.02.2026).
2. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 400 с.
3. Чен Т., Гестрин К. XGBoost: Масштабируемая система бустинга деревьев / Чен Т., Гестрин К. // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. - 2016. - С. 785–794.
4. Николенко С.И., Кадури А.А., Архангельская Е.О. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. / Николенко С.И., Кадури А.А., Архангельская Е.О. - СПб.: Питер, 2020. - 480 с.
5. Новикова Т.П. Разработка алгоритма количественного инвестирования на базе Random Forest / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, У Гоцуй // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 53-60.

6. Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. / Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. - М.: Вильямс, 2011. - 528 с.
7. Пальмов С.В. Анализ тональности текстов: методы и приложения // Программная инженерия. - 2018. - № 9. - С. 417–425.
8. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. - М.: ДМК Пресс, 2018. - 652 с.
9. Коршунов А.В., Гомзин А.Г. Тематическое моделирование текстов на естественном языке / Коршунов А.В., Гомзин А.Г. // Труды ИСП РАН. - 2012. - Т. 23.
10. Провост Ф., Фосетт Т. Data Science для бизнеса. - URL: https://www.researchgate.net/publication/256438799_Data_Science_for_Business (дата обращения: 14.02.2026).
11. Шитиков В.К., Мастицкий С.Э. Классификация, регрессия и другие алгоритмы интеллектуального анализа данных с использованием R. / Шитиков В.К., Мастицкий С.Э. - URL: <https://github.com/ranalytics/data-mining> (дата обращения: 17.02.2026).

References

1. Vorontsov K.V. Mathematical methods of learning by precedents (machine learning theory). - URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf> (accessed: 15.02.2026).
2. Flach C. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 400 с.
3. Chen T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / Chen T., Guestrin C. // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. - 2016. - С. 785–794.
4. Nikolenko S.I., Kadurin A.A., Arkhangelskaya E.O. Deep Learning. Diving into the World of Neural Networks. / Nikolenko S.I., Kadurin A.A., Arkhangelskaya E.O. - СПб.: Питер, 2020. - 480 с.
5. Novikova T.C. Development of a quantitative investment algorithm based on Random Forest / T.C. Novikova, S.A. Evdokimova, Wu Gotsui // Моделирование систем и процессов. – 2022. – VOL. 15, № 1. – С. 53-60.
6. Manning C. Introduction to Information Retrieval / Manning C., Raghavan C., Schütze H. - М.: Вильямс, 2011. - 528 с.
7. Palmov S.V. Sentiment Analysis of Texts: Methods and Applications // Программная инженерия. - 2018. - № 9. - С. 417–425.

8. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning / Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. - М.: ДМК Пресс, 2018. - 652 с.
9. Korshunov A.V. Topic Modeling of Natural Language Texts / Korshunov A.V., Gomzin A.G. // Труды ИСП РАН. - 2012. - Vol. 23
10. Provost F., Fawcett T. Data Science for Business. - URL: https://www.researchgate.net/publication/256438799_Data_Science_for_Business (accessed: 14.02.2026).
11. Shitikov V.K., Mastitsky S.E. Classification, Regression and Other Data Mining Algorithms Using R. / Shitikov V.K., Mastitsky S.E. - URL: <https://github.com/ranalytics/data-mining> (accessed: 17.02.2026).

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ
НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

О.Н. Чередников¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится сравнительный анализ методов моделирования информационных систем – структурного (DFD, IDEF0), объектно-ориентированного (UML) и процессного (BPMN) – в контексте этапов их жизненного цикла. Рассматриваются сильные стороны и ограничения каждого подхода, а также их применимость при сборе требований, проектировании архитектуры, разработке, тестировании и эксплуатации ИС. Результаты обобщены в виде сравнительной таблицы. Делается вывод, что эффективное проектирование требует не выбора единственного метода, а их комбинированного применения в зависимости от решаемых задач на каждом этапе.

Ключевые слова: моделирование информационных систем, жизненный цикл ИС, структурный подход, UML, BPMN, DFD, IDEF0, сравнительный анализ

**COMPARATIVE ANALYSIS OF INFORMATION SYSTEMS MODELING
METHODS AND THEIR APPLICABILITY AT VARIOUS STAGES OF THE
INFORMATION SYSTEMS LIFECYCLE**

O.N. Cherednikova¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article provides a comparative analysis of information system modeling methods – structural (DFD, IDEF0), object-oriented (UML) and process-based (BPMN) - in the context of their lifecycle stages. The strengths and limitations of each approach are considered, as well as their applicability in requirements collection, architecture design, development, testing, and operation of IP. The results are summarized in a comparative table. It is concluded that effective design requires

not the choice of a single method, but their combined application, depending on the tasks to be solved at each stage.

Keywords: information systems modeling, IP lifecycle, structural approach, UML, BPMN, DFD, IDEF0, comparative analysis

Проектирование современных информационных систем (ИС) представляет собой сложный, итеративный процесс, успех которого во многом зависит от качества используемых моделей. Моделирование позволяет абстрагироваться от второстепенных деталей и сосредоточиться на ключевых архитектурных решениях, обеспечивая единый язык коммуникации между заказчиками, аналитиками, архитекторами и разработчиками. Однако многообразие методологий – структурных, объектно-ориентированных, процессных – ставит перед специалистами непростую задачу выбора адекватного инструмента на каждом этапе жизненного цикла (ЖЦ) системы.

Несмотря на обилие публикаций по отдельным нотациям (UML, BPMN, IDEF), в литературе недостаточно систематизированы рекомендации по их применению в зависимости от решаемой задачи и стадии разработки. Зачастую это приводит к неэффективному использованию ресурсов, когда, например, на этапе концептуального проектирования применяются избыточно детализированные модели, либо, наоборот, на этапе реализации не хватает формальных спецификаций.

Анализ предметной области показывает, что все многообразие методов моделирования информационных систем может быть сведено к трем базовым подходам: структурному, объектно-ориентированному и процессному. Каждый из них имеет собственную теоретическую базу, нотацию и инструментарий, что предопределяет его сильные стороны и ограничения.

Структурный подход исторически стал первым системным методом проектирования ИС. Его философия основана на декомпозиции системы на функциональные компоненты по принципу «сверху-вниз». Ключевыми инструментами здесь выступают диаграммы потоков данных (DFD) и функциональные модели IDEF0. Основное внимание уделяется данным и операциям их преобразования. Главным преимуществом структурного подхода является наглядность иерархии функций, что делает его незаменимым на этапе обследования организации и формирования технического задания, когда требуется зафиксировать, что делает система, не углубляясь в детали реализации.

Объектно-ориентированный подход, реализованный в стандарте UML, предлагает принципиально иную картину мира. Система рассматривается как совокупность взаимодействующих объектов, объединяющих данные и поведение. Богатство диаграмм UML (вариантов использования, классов, последовательностей, состояний и др.) позволяет моделировать систему с разных ракурсов. Этот метод доминирует на этапах технического и рабочего проектирования, так как создаваемые модели (диаграммы классов) напрямую транслируются в программный код, обеспечивая плавный переход от анализа к разработке.

Процессный подход (BPMN) фокусируется на логике выполнения бизнес-процессов и взаимодействии участников. В отличие от структурного подхода, который отвечает на вопрос «что», BPMN детализирует «как», «кто» и «в какой последовательности». Нотация BPMN стала стандартом де-факто для моделирования workflows и оркестровки сервисов. Ее ценность максимально проявляется на стыке этапов проектирования и внедрения, а также при последующей регламентации и оптимизации процессов в уже работающей системе.

Рассмотренные методы моделирования обладают различной эффективностью в зависимости от конкретного этапа жизненного цикла информационной системы. Проведенный анализ позволяет выделить следующие закономерности и рекомендации. [3]

Этап сбора требований и концептуального проектирования. На данной стадии первостепенную роль играет взаимопонимание между заказчиком и командой разработки. Структурный подход в нотации DFD и IDEF0 демонстрирует высокую эффективность благодаря наглядной декомпозиции функций и понятным заказчику схемам движения данных. Диаграммы вариантов использования (use case) из UML также хорошо зарекомендовали себя при формировании функциональных требований, так как позволяют описать границы системы и сценарии взаимодействия с ней. Процессный подход BPMN на этом этапе часто оказывается избыточным, поскольку детальная прорисовка логики ветвления и ролей может отвлекать от согласования ключевого функционала.

Этап проектирования архитектуры. Здесь безусловным лидером выступает объектно-ориентированный подход UML. Диаграммы классов позволяют создать логическую модель данных, диаграммы компонентов и развертывания – описать физическую архитектуру, а диаграммы последовательностей – детализировать сценарии взаимодействия объектов. Именно на этом этапе UML-модели становятся мостом между анализом и непосредственной разработкой, так

как многие CASE-средства позволяют генерировать программный код на их основе. Структурные модели на данном этапе сохраняют ценность лишь как вспомогательное средство для описания отдельных сложных алгоритмов. [1]

Этап разработки и реализации. В процессе кодирования наиболее востребованными становятся детализированные поведенческие модели. Диаграммы последовательностей и активности (UML) помогают разработчикам понять логику взаимодействия объектов в конкретных сценариях. BPMN-модели на этом этапе могут приобретать исполняемый характер: при использовании BPMS-платформ такие модели напрямую трансформируются в работающий код, что существенно сокращает разрыв между проектированием и реализацией бизнес-логики.

Этап тестирования. Моделирование вносит вклад и в обеспечение качества ИС. Диаграммы состояний (UML) служат основой для создания тестовых сценариев, покрывающих все возможные переходы объекта. Модели потоков данных позволяют проследить корректность обработки информации на всех этапах, что особенно важно при интеграционном тестировании.

Этап эксплуатации и сопровождения. На этой стадии наибольшую ценность приобретают процессные модели BPMN. Во-первых, они служат документальной основой для обучения новых сотрудников и регламентации деятельности. Во-вторых, при наличии журналов событий BPMN-модели становятся базой для Process Mining-анализа, позволяя выявлять отклонения фактического выполнения от регламентов и обнаруживать «узкие места». Структурные схемы сохраняют актуальность при документировании внесенных изменений и проведении реинжиниринга. [4]

Таким образом, эффективное моделирование информационных систем требует не выбора одного «лучшего» метода, а их разумной комбинации. Архитектор должен владеть всем инструментарием, чтобы на каждом этапе жизненного цикла применять тот подход, который максимально соответствует текущим задачам и ожиданиям стейкхолдеров. Комплексное использование структурных, объектных и процессных моделей позволяет обеспечить преемственность проектных решений на всем протяжении жизненного цикла ИС и существенно снизить риски, связанные с неполнотой или некорректностью требований.

Проведенный сравнительный анализ методов моделирования информационных систем подтверждает, что выбор адекватного инструментария не может быть произвольным или основываться исключительно на личных предпочтениях разработчика. Каждый из рассмотренных подходов – структурный, объектно-

ориентированный и процессный – занимает свою нишу в жизненном цикле ИС и обеспечивает решение специфических задач.

Таблица 1. Сравнительный анализ применимости методов моделирования на этапах ЖЦ ИС

Этап жизненного цикла ИС	Структурный подход (DFD, IDEF0)	Объектно-ориентированный подход (UML)	Процессный подход (BPMN)
Сбор требований и концептуальное проектирование	Высокая эффективность. Наглядная декомпозиция функций, понятная заказчику. Фиксация того, что делает система.	Высокая эффективность. Диаграммы вариантов использования (use case) четко описывают границы системы и сценарии взаимодействия.	Низкая эффективность. Избыточная детализация логики на ранних этапах может затруднять согласование ключевого функционала.
Проектирование архитектуры	Средняя эффективность. Сохраняет ценность как вспомогательное средство для описания сложных алгоритмов и потоков данных.	Максимальная эффективность. Диаграммы классов, компонентов, развертывания и последовательностей создают мост между анализом и разработкой.	Средняя эффективность. Может использоваться для моделирования оркестровки сервисов, но недостаточна для описания статической архитектуры.
Разработка и реализация	Низкая эффективность. Используется преимущественно в legacy-системах или для документирования уже реализованных алгоритмов.	Высокая эффективность. Диаграммы последовательностей и активности помогают разработчикам понять логику взаимодействия объектов.	Высокая эффективность. В BPMS-платформах BPMN-модели напрямую трансформируются в исполняемый код.
Тестирование	Средняя эффективность. Модели потоков данных позволяют проследить корректность обработки информации при интеграционном тестировании.	Высокая эффективность. Диаграммы состояний служат основой для создания тестовых сценариев, покрывающих все переходы объекта.	Средняя эффективность. Используется для проверки соответствия реализованной логики регламентам процессов.
Эксплуатация и сопровождение	Средняя эффективность. Актуальны при документировании внесенных изменений	Низкая эффективность. Детальные UML-модели редко поддержива	Максимальная эффективность. Служат основой для Process

	и проведении реинжиниринга.	ются в актуальном состоянии после завершения разработки.	Mining-анализа, выявления «узких мест», обучения сотрудников и регламентации.

Структурное моделирование сохраняет свою актуальность на начальных этапах как средство наглядного представления функциональной архитектуры и потоков данных, понятное заказчику. Объектно-ориентированный подход, реализованный в UML, выступает универсальным языком проектирования, обеспечивающим бесшовный переход от анализа требований к генерации кода и документированию архитектурных решений. Процессное моделирование в нотации BPMN максимально востребовано при реализации и эксплуатации систем, особенно в контексте автоматизации бизнес-логики и последующего анализа эффективности. [2]

Ключевым выводом работы является тезис о том, что профессиональное проектирование информационных систем требует не конкуренции методов, а их интеграции в рамках единой методологии. Архитектор ИС должен владеть всем спектром средств моделирования и осознанно применять их на соответствующих стадиях жизненного цикла. Такой комплексный подход позволяет обеспечить полноту и непротиворечивость проектных решений, снизить риски некорректной реализации требований и повысить общее качество разрабатываемых информационных систем.

Список литературы

1. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.
2. Сорокина, А. Е. Сравнительный анализ методов моделирования угроз информационной системы / А. Е. Сорокина // Информационные технологии в науке, бизнесе и образовании. Проблемы обеспечения цифрового суверенитета государства: Материалы XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 26 ноября 2021 года / Под общей редакцией А.М. Прохорова, А.В. Царегородцева. – Москва: Московский государственный лингвистический университет, 2022. – С. 92-97. – EDN FEQHEI.

3. Бухаров, М. Н. Информационная система для онтологического моделирования предметных областей / М. Н. Бухаров // Информатика. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 85-99. – DOI 10.37661/1816-0301-2022-19-2-85-99. – EDN EEMXPE.

4. Зайцев, А. Ф. Анализ эффективности алгоритмов вычисления в информационной системе логико-математического моделирования / А. Ф. Зайцев, В. А. Кравченко, Д. Ш. Ширапов // Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. – 2020. – № 2. – С. 3-14. – DOI 10.18101/2304-5728-2020-2-3-14. – EDN SHKQXF.

References

1. Computer simulation of the operability of an electrical circuit in design automation systems / V. K. Zolnikov, S. V. Stoyanov, E. V. Shmakov, N. N. Litvinov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

2. Sorokina, A. E. Comparative analysis of information system threat modeling methods / A. E. Sorokina // Information technologies in science, business and education. Problems of ensuring the digital sovereignty of the state : Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Moscow, November 26, 2021 / Under the general editorship of A.M. Prokhorov, A.V. Tsaregorodtsev. – Moscow: Moscow State Linguistic University, 2022. – pp. 92-97. – EDN FEQHEI.

3. Bukharov, M. N. Information system for ontological modeling of subject areas / M. N. Bukharov // Informatics. – 2022. – Vol. 19, No. 2. – pp. 85-99. – DOI 10.37661/1816-0301-2022-19-2-85-99. – EDN EEMXPE.

4. Zaitsev, A. F. Analysis of the effectiveness of computing algorithms in the information system of logical and mathematical modeling / A. F. Zaitsev, V. A. Kravchenko, D. S. Shirapov // Bulletin of the Buryat State University. Mathematics, computer science. – 2020. – No. 2. – pp. 3-14. – DOI 10.18101/2304-5728-2020-2-3-14. – EDN SHKQXF.

РАЗРАБОТКА WEB-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

М.А. Осипов¹, К.О. Чечукова¹, О.А. Авилова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается разработка WEB-ориентированной информационной системы поддержки принятия решений, реализующей интеллектуальный анализ запросов пользователя и функционирование подсистемы агрегации данных из онлайн-ресурсов посредством запросов к API-интерфейсам. Анализируется рынок конкурентов, приводится обоснование конкурентоспособности и разбираются преимущества разрабатываемого проекта.

Ключевые слова: конфигуратор, совместимость, агрегация, парсинг, онлайн-магазины, конкуренты, характеристики, конкурентоспособность, рынок.

DEVELOPMENT OF A WEB-ORIENTED INFORMATION SYSTEM FOR DECISION SUPPORT

I.A. Kandaurov¹, K.O. Chechukova¹, O.A. Avilova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article discusses the development of a web-based decision support information system that implements intelligent analysis of user queries and a subsystem for aggregating data from online resources via API requests. The competitive market is analyzed, competitiveness is justified, and the advantages of the project under development are discussed.

Keywords: configurator, compatibility, aggregation, parsing, online stores, competitors, characteristics, competitiveness, market

Сборка персонального компьютера «под ключ» является предпочтительным выбором для миллионов пользователей персональных компьютеров. Благодаря оптимизации стоимости и удовлетворения требований к производительности

сти основываясь на предпочтениях пользователя: игры, монтаж видео, инженерные расчеты или работа с офисным софтом. Но данный вариант сборки компьютера создает ряд проблем, которые являются существенным барьером для новичков.

Совместимость компонентов является одной из самых больших сложностей на этапе планирования будущего персонального компьютера. Существуют разные сокеты CPU, различные формфакторы материнских плат, мощность блоков питания под определенные комплектующие, совместимости систем охлаждения и максимальный отвод TDP, скорость и тип оперативной памяти поддерживаемые материнской платой и центральным процессором, количество и тип портов для устройств хранения данных. Все вышеперечисленные параметры влияют на работоспособность, мощность и ценообразование конкретной сборки компьютера, что может отпугнуть новичка в самостоятельной сборке.

Второй проблемой, с которой встречаются пользователи компьютеров, это огромный ассортимент и количество онлайн-магазинов. Наличие товаров и его ценообразование отследить обычному пользователю практически невозможно. А планирование бюджета на покупку компьютера даже на неделю вперед, приводит к рискам резкого удорожания комплектующих или отсутствие критически важных позиций в спланированной сборке.

Даже при условии совместимости компонентов, пользователь сталкивается с проблемой выбора оптимального соотношения цены и произвольности. Так пользователь приходит к третьей проблеме самостоятельного подбора компьютерных комплектующих – «бутылочное горлышко». Процессор, видеокарта, материнская плата и оперативная память, должны подходить друг к другу должным образом, чтобы в определенных задачах компьютер показывал приемлемую производительность.

На рынке, в данный момент представлено несколько типов решений, предоставляющих помощь в сборке ПК. Проанализировав данные решения, позволяет сформировать понимание, уникальности проекта «Интеллектуальной WEB-системы для подбора конфигураций персональных компьютеров».

Существует несколько крупных конфигураторов персональных компьютеров, все они базируются на базе крупных ретейлеров DNS (рис. 1), Regard (рис. 2), pc-arena (рис. 3) и др. У перечисленных конфигураторов одинаковый функционал, это добавление компонентов в виртуальную сборку с базовой проверкой совместимости.

Так же можно выделить их общие недостатки. Из-за привязки каждого конфигуратора к отдельно взятому магазину, пользователю позволено видеть цены и наличие товара только у данного магазина, лишая его возможности выбрать более выгодное предложение. Отсутствие интеллектуального подбора комплектующих на основе конкретных задач. В DNS или Regard отсутствует такая возможность, а в других конфигураторах, предоставляются сборки с фиксированной ценой, часто не отвечающие на конкретные требования пользователей.

Международные платформы конфигураторы ПК (PCPartPicker, UserBenchmark и др.) Являются основными конкурентами и ориентирами для разработки будущего проекта, так как они используют систему агрегации из сторонних магазинов (к примеру PCPartPicker агрегирует данные из Amazon, newegg, BestBuy и др.) и находят среди них самые дешевые комплектующие. К тому же в каждом из них есть уже готовые сборки, среди которых пользователь может найти что-то подходящее для себя. К сожалению, у них так же нет возможности умной сборки по запросу предназначения ПК и стоимости. В добавок ко всему они не работают с российским рынком, поэтому цель продукта – ориентировавшись на подобные конфигураторы создать свой – улучшенный вариант для рынка РФ.

Так же в интернете существует множество «гайдов» по сборке компьютеров за определенную сумму и определенный временной отрезок. Подобная информация быстро устаревает, не учитывая динамику цен и наличие комплектующих на складе.

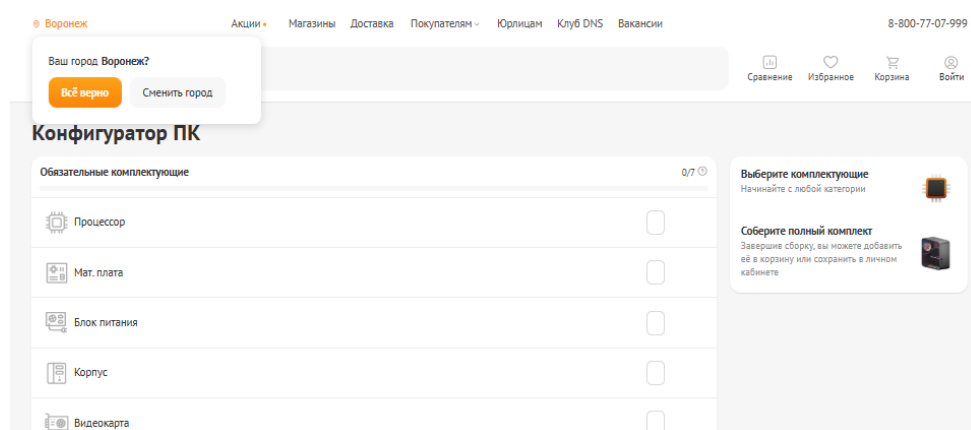


Рисунок 1 – Конфигуратор DNS

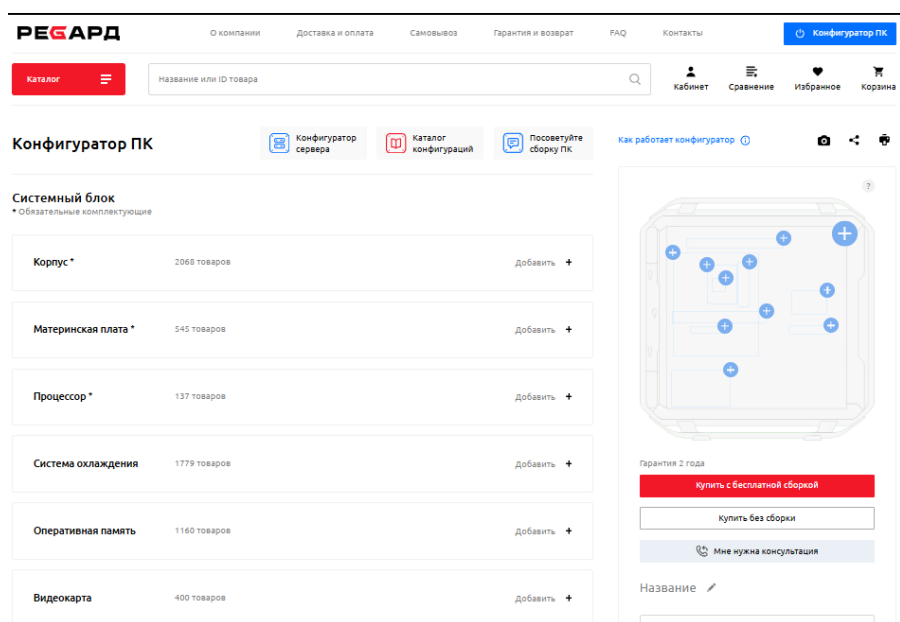


Рисунок 2 – Конфигуратор Regard

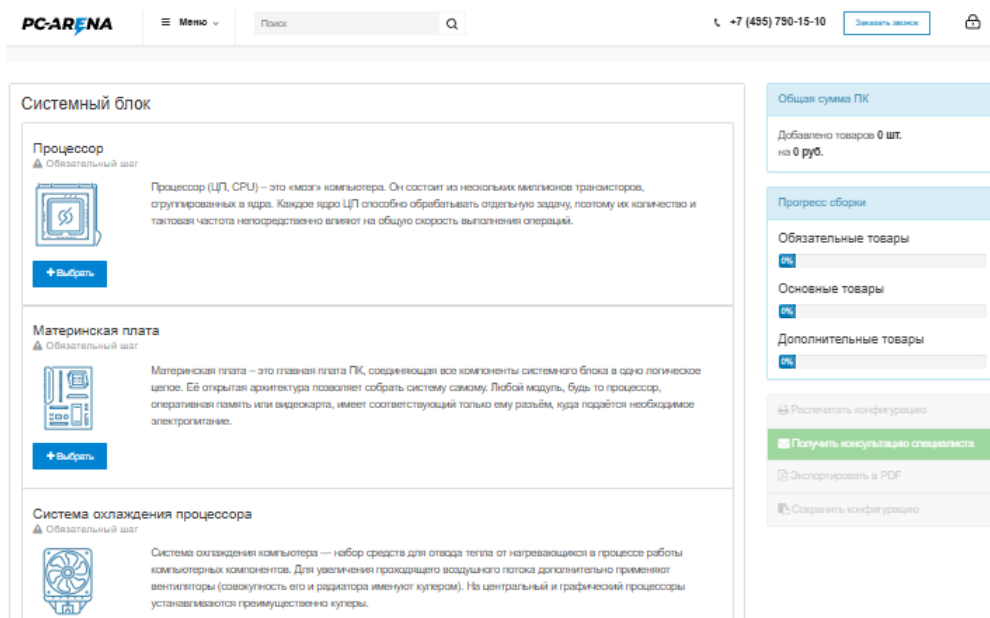


Рисунок 3 – Конфигуратор PC-ARENA

Разрабатываемая система предоставляет собой веб-приложение, которое комплексно подходит к решению всех ключевых проблем пользователя. Интеллектуальный генератор конфигурации предоставит удобный функционал приложения для пользователя, в котором можно будет ввести ключевые параметры: бюджет, предпочтения по определенным брендам, и тип сборки (игровая, офисная и т.д.). Далее, модуль предоставит на основе введенных критериев несколько оптимальных вариантов сборки персональных компьютеров. Основываясь на интеллектуальной метрике комплектующих. Интеллектуальная модель динамически распределяет бюджет, закладывая 10% на сборку и непредвиденные расходы.

Следующим этапом распределяет бюджет, под выбранный тип сборки. (бюджетный, средний или профессиональный уровень). Каждый тип сборки имеет свои методы распределения бюджета. Так для бюджетного компьютера, средства на центральный процессор будут более приоритетными, процессор будет выбран с большей вероятностью с встроенной графикой, а видеокарта будет опциональной частью ПК. В свою очередь бюджет компьютера среднего уровня, будет собираться принципиально по другой методике, в которой приоритетом уже будет видеокарта, и под нее будет закладываться до 40% бюджета.

Для подбора каждого типа комплектующих были созданы индивидуальные методы оценки компонентов.

В панели администратора реализована система коррекции цен, наличие и тип комплектующих. Что позволит пользователю получать актуальные сборки персональных компьютеров. Все комплектующие и цены были взяты из онлайн-магазина “Ситилинк”.

В таблице 1 изображены критерии для сравнения существующих платформ и разрабатываемой.

Таблица 1 – Сравнение разрабатываемой и существующих платформ

Критерий / Решение	Локальные конфигура-торы (DNS, Regard, pc-arena и др.)	Международ-ные плат-формы конфи-гураторы ПК (PCPartPicker, UserBenchmark и др.)	Экспертные со-общества и ви-деоблогеры (YouTube, Red-dit и др.)	Разрабатываемая платформа
Целевой рынок	РФ	США, Европа	Везде	РФ
Источник данных о ценах	Данные одного магазина	150+ магазинов (US/EU)	Ручные ссылки от авторов (быстро устаре-вают)	Агрегация 3 и более РФ-магазинов через панель администра-тора
Проверка совмести-мости	Статичные пра-вила	Статичные пра-вила	Опыт и обратная связь сообще-ства	Статичные правила + способность выяв-лять неочевидные конфликты
Глубина ка-стомизации	Клиент само-стоятельно под-бирает ком-плектующие	Клиент само-стоятельно под-бирает комплек-тующие	Клиент самосто-ятельно оцени-вает правиль-ность и правди-вость сборки	Система мгновенно предлагает альтерна-тивы с пересчетом всей сборки

Предлагаемый проект – веб-ориентированная информационная система с использованием AI. Его ключевые преимущества, это генерация готовых решений «под ключ» на основе постоянно обновляющейся базы комплектующих. Основываясь на приведенных примерах и аргументах, можно прийти к выводу, что данная платформа не имеет аналогов на рынке, и будет востребована у пользователей.

Список литературы

1. DNS. Конфигуратор ПК. – URL: https://www.dns-shop.ru/configurator/?utm_medium=organic&utm_source=yandex&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения 05.02.2026)
2. Regard. Конфигуратор ПК. – URL: <https://www.regard.ru/configurator> (дата обращения 05.02.2026)
3. PC-ARENA. Конфигуратор ПК. – URL: <https://pc-arena.ru/constructor> (дата обращения 05.02.2026)
4. EDELWEISS. Конфигуратор ПК. – URL: <https://edelws.ru/constructor> (дата обращения 05.02.2026)
5. HYPERPC. Конфигуратор ПК. – URL: <https://hyperpc.ru/configurator> (дата обращения 05.02.2026)
6. В.И. Сумин. Моделирование процесса выбора оптимального метода контроля целостности информации в автоматизированной системе с учетом особенностей её функционирования/В.И. Сумин, С.В. Родин// Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 95-102. –DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-95-102 (дата обращения 05.02.2026)

References

1. DNS. PC Configurator. URL: https://www.dns-shop.ru/configurator/?utm_medium=organic&utm_source=yandex&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (accessed date 05.02.2026)
2. Regard. PC Configurator. URL: <https://www.regard.ru/configurator> (accessed date 05.02.2026)
3. PC-ARENA. PC Configurator. URL: <https://pc-arena.ru/constructor> (accessed date 05.02.2026)
4. EDELWEISS. PC Configurator. URL: <https://edelws.ru/constructor> (accessed date 05.02.2026)

5. HYPERPC. PC Configurator. – URL: <https://hyperpc.ru/configurator> (accessed date 05.02.2026)

6. V.I. Sumin. Modeling the process of selecting the optimal method for monitoring the integrity of information in an automated system, taking into account the specifics of its functioning/V.I. Sumin, S.V. Rodin// Modeling of Systems and Processes. – 2025. – Vol. 18, No. 4. – Pp. 95-102. – DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-95-102 (accessed date 05.02.2026)

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

М. Хуссейн¹, Е.А. Аникеев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые аспекты обеспечения кибербезопасности в условиях цифровой трансформации экономики и социальной сферы. Проведён анализ современных киберугроз, включая практический случай атаки программой-вымогателем, описаны архитектурные и технологические подходы к защите информационных систем, а также рассмотрена роль нормативно-правовой базы и человеческого фактора в построении комплексной системы информационной безопасности организации.

Ключевые слова: кибербезопасность, цифровая трансформация, программы-вымогатели, архитектура нулевого доверия, защита данных, искусственный интеллект, информационная безопасность.

CYBERSECURITY IN THE AGE OF DIGITAL TRANSFORMATION

Mohammad Hussain¹, E.A. Anikeev¹

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines the key aspects of ensuring cybersecurity in the context of the digital transformation of the economy and social sphere. An analysis of modern cyber threats is carried out, including a practical case of a ransomware attack, architectural and technological approaches to protecting information systems are described, and the role of the regulatory framework and the human factor in building a comprehensive information security system of an organization are considered.

Keywords: cybersecurity, digital transformation, ransomware, zero trust architecture, data protection, artificial intelligence, information security.

Introduction

The transition to digital economy and smart government services where many processes are migrated to cloud computing and Internet of Things become prevalent

have significantly altered the cybersecurity threat landscape. Previously, information security was considered an issue of technologies that resided only in the IT department. Nowadays, cybersecurity has transformed into one of the crucial elements of running business, and the global cost of cybercrime is expected to reach more than \$9.5 trillion in 2024 according to Cybersecurity Ventures [1].

Thus, the digital transformation involves the reconsideration of business models, operations in supply chain management, and collaboration among humans and technologies. Every newly introduced technology, cloud-based application, or connected thing increases the risk of successful attack. Hence, there is a need to abandon purely perimeter-based solutions in favor of comprehensive cybersecurity strategies.

Evolution of Threats in the Digital Environment

Cybersecurity has a history that is very similar to the history of digital technologies. The first computer viruses came out in the 1980s. In the 2000s, organized cybercriminal groups took their place. In the 2010s, state-sponsored advanced persistent threat (APT) actors joined them. There are a few main vectors that make up the threat landscape today.

Ransomware is now one of the most damaging types of attacks for businesses. The double-extortion model, which involves encrypting data and threatening to publish it at the same time, has given attackers a lot more power. The 2021 attack on the Colonial Pipeline, which stopped fuel supplies across the eastern United States, and the 2024 attack on the Change Healthcare payment processor, which stopped the processing of prescriptions at thousands of pharmacies, show that ransomware is now a systemic threat to critical infrastructure [2].

Ransomware attacks don't just happen to big companies and important infrastructure; they also work just as well on individual users. The author of this article wrote about the following case, which shows how a modern ransomware attack on a personal computer usually works and how it uses social engineering.

The attack started when someone downloaded a program from a third-party website that was not authorized. When the malicious program ran, it silently installed ransomware that changed all the files on the device, including documents, images, and other personal data, into shortcut files (.lnk). The attacker had to use their decryption tool to get to these files. There was no warning during or right after the infection; the data just seemed to disappear and be replaced by shortcut icons that looked the same. After the encryption phase, the victim was told to pay 800 US dollars to get a proprietary recovery software that the attackers said would bring back all the affected files.

In this case, there is a known ransomware propagation technique that involves distributing malware-infected software using third-party websites for downloads. This particular ransomware attack demonstrates several features that are consistent with what researchers have observed in previous studies on cybersecurity. For example, the use of shortcuts to hide files instead of deleting them is a planned social engineering strategy intended to induce confusion in the victim's mind and increase the chances of payment. Moreover, a ransom value of 800 USD falls into the category of ransomware attacks that target individual users or small enterprises. In other words, it is sufficiently large to generate a profit while remaining affordable for some individuals or small business owners. Finally, the claim that the "recovery software" will enable the user to recover their files appeals to the victim's instinct to restore their system, although ransomware distributors cannot be certain that decryption software will work.

This case highlights a significant and often undervalued risk factor: the utilization of software from unverified sources. Legitimate application distribution channels, such as official vendor websites, verified software repositories, and platform-managed stores, offer significant, albeit not infallible, protection against this attack vector. The incident further confirms that individual cybersecurity awareness is just as important as organizational and technical controls. This is because end-user behavior is still the most common way that ransomware gets into systems [3].

Even now, phishing and social engineering remain the most widespread methods to penetrate enterprise networks. The role of human element remains significant despite advancements in email scanning solutions and endpoint security tools. FBI statistics reveal that in 2023 BEC schemes cost more than \$2.9 billion in financial losses to the United States economy. BEC schemes exploit sophisticated spoofing techniques that result in leaking user passwords and unauthorized transfer of money. With the development of generative AI technologies, cybercriminals can generate fake yet convincing content even more easily [1, 3].

Supply chain attacks are particularly risky since they leverage the trust established between companies and software and hardware providers. A vivid example was provided by the Solar Winds incident back in 2020 when malicious code inserted into an official IT monitoring and management software package penetrated hundreds of organizations and even some US government agencies. Nowadays software supply chains grow increasingly complex due to reliance on open-source and third-party software packages. Thus, it is easier to deliver malware through them [2].

Architectural Approaches to Cybersecurity

The fact that traditional perimeter-based security models don't work well with cloud computing, remote work, and mobile devices has sped up the move to Zero Trust Architecture (ZTA). The Zero Trust model, which is explained in NIST Special Publication 800-207, is based on the idea of "never trust, always verify." This means that no user, device, or network segment is automatically trusted, and every access request must be explicitly verified, authorized, and continuously validated [3].

There are a few important technologies and practices that make Zero Trust work in real life. Multi-factor authentication (MFA) greatly lowers the chance that someone will get access to your account by stealing your password. An attacker needs the extra factor to get in. Micro-segmentation breaks the network into small, separate areas, making it harder for an attacker who has already broken through the perimeter to move around. The principle of least privilege says that users and systems should only be given the permissions they need to do their jobs. This lowers the risk of damage from a hacked account.

Misconfigurations are among the leading causes of cloud data breaches, and CSPM tools provide an automatic scan and resolution of the problem, a significant advantage for companies working in the cloud environment. The 2024 IBM Cost of a Data Breach report estimates that the average cost of a breach due to cloud misconfiguration is \$4.14 million, highlighting the importance of configuration validation in multi-cloud environments. [1]

In contrast to the conventional security strategy, DevSecOps regards cybersecurity as an integral component of the software development process and not an add-on. Integrating security practices such as SAST, DAST, and SCA into CI/CD workflows enables the identification and resolution of security vulnerabilities at the earliest, most economical stage possible [2, 3].

Artificial Intelligence in Cybersecurity

In fact, AI is changing the face of cybersecurity not only for hackers but also for organizations. In terms of machine learning, cybersecurity solutions become capable of analyzing huge amounts of telemetry information and discovering any deviations that could be overlooked by basic security rules. AI-powered SIEM and XDR systems detect even the most complex and multi-staged cyber-attacks by connecting all the dots between endpoints, networks, and cloud services.

UEBA creates unique behavior patterns for every user or device and detects any deviations, such as atypical hours of logging into the system or unusual access to certain data resources. At the same time, natural language processing technologies allow cybersecurity experts to automatically analyze various threat intelligence feeds, vulnerability databases, and dark web resources to obtain valuable insights into the latest threats.

At the same time, enemies are using AI more and more to make their attacks bigger, faster, and more effective. Generative AI tools are used to make phishing emails that are very specific to each person, find software flaws automatically, and make polymorphic malware that can't be found by signature-based detection. The arms race between AI-powered attacks and AI-powered defenses is one of the most important things about modern cybersecurity. Researchers at top Russian universities are also working on systems that use neural network models to find strange patterns in network traffic. These systems are being added to national cybersecurity platforms. [3].

Regulatory Framework and Governance

As the recognition of the relationship between cybersecurity and national security and economic stability increases, laws and regulations take an expansionist path across Russia and the globe. In Russia, Federal Law No. 187-FZ “On the Security of Critical Information Infrastructure” introduces mandatory requirements for protecting information systems in key industries, such as healthcare, financial institutions, transport systems, and the energy sector. The requirements include categorization of critical infrastructure according to its security level, protection methods, and notification of every cyber-attack to the National Coordination Center for Computer Incidents (NCCCI) referred to as (NKTsKI) [2].

The latest update of the NIST Cybersecurity Framework (CSF 2.0) introduced in 2024 continues to be the go-to solution to design cybersecurity efforts based on six fundamental pillars: govern, identify, protect, detect, respond, and recover. In Europe, the implementation of the NIS2 Directive became effective from January 2023, extending the scope of responsibilities to ensure cybersecurity to providers of essential services and digital service providers.

There have been numerous changes made in relation to cybersecurity governance within corporate organizations. CISOs have transitioned from taking care of technological tasks to playing a more strategic role, reporting directly to the board. Boards of directors are now expected to play an active role in managing cybersecurity risk for

companies operating in diverse geographical locations. This shows that cybersecurity risk is basically a business risk which needs to be tackled by top management. [1, 3].

Conclusion

At a time of rapid digital transformation, modern cybersecurity requires a comprehensive, flexible approach based on state-of-the-art technology, effective governance, and continuous skill-building of people. The ransomware case highlighted in the current article proves that the scope of cybersecurity threats extends beyond single individuals to include important national infrastructure. It also proves that the number one entry point for a cyber-threat is a human being whose actions have caused a vulnerability. The involvement of non-sanctioned distribution channels of software, data concealment practices associated with social engineering tactics and, finally, a rational economics of ransom demand are all factors making human involvement crucial.

Transitioning to Zero Trust Architecture, using machine learning and artificial intelligence to detect and mitigate cyber threats, integrating security into software development, and engaging proactively with the changing regulatory landscape constitute some key aspects of achieving cyber resilience. Cybersecurity as a strategic priority for both individuals and organizations puts them in the best possible position in the context of reaping benefits and mitigating risks of digital transformation.

Список литературы

1. IBM Security. Отчет о стоимости утечек данных за 2024 год / IBM Security. – Разработчик : Корпорация IBM, 2024. – 91 с.
2. ФСТЭК России. Методические рекомендации по обеспечению информационной безопасности критической информационной инфраструктуры / ФСТЭК России. – М., 2023. – URL: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/2456> (дата обращения: 10.03.2025).
3. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71–79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.
4. Роуз, С. Архитектура нулевого доверия : Специальная публикация 800-207 / С. Роуз, О. Борхерт, С. Митчелл, С. Коннелли. – Гейтерсберг : Национальный институт стандартов и технологий., 2020. – 50 с.

5. Шаньгин, В. Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях / В. Ф. Шаньгин. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 592 с.
6. NIST. Платформа кибербезопасности NIST 2.0 / Национальный институт стандартов и технологий. – Гейтерсбург, 2024. – URL: <https://www.nist.gov/cyberframework> (дата обращения: 15.03.2025).

References

1. IBM Security. Cost of a Data Breach Report 2024. Armonk: IBM Corporation, 2024. 91 p.
2. FSTEC of Russia. Methodological recommendations for ensuring information security of critical information infrastructure. Moscow, 2023. URL: <https://fstec.ru/tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/114-spetsialnye-normativnye-dokumenty/2456> (date of reference: 10.03.2025).
3. Sumin V.I., Kravchenko A.S., Tolkachev A.V. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems. Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 3. pp. 71–79. DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. EDN FBBHJO.
4. Rose S., Borchert O., Mitchell S., Connelly S. Zero Trust Architecture: Special Publication 800-207. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2020. 50 p.
5. Shangin V.F. Information protection in computer systems and networks. Moscow: DMK Press, 2021. 592 p.
6. NIST. NIST Cybersecurity Framework 2.0. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, 2024. URL: <https://www.nist.gov/cyberframework> (date of reference: 15.03.2025).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ

А.В. Шпинева¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается разработка и применение цифровых двойников киберфизических систем (КФС) для мониторинга и прогнозирования состояния промышленных объектов в реальном времени. Основное внимание уделяется интеграции нейросетевых алгоритмов, таких как рекуррентные нейронные сети (RNN) и сети с долгосрочной краткосрочной памятью (LSTM), для динамичного прогнозирования изменений состояния физического объекта, основанного на данных, получаемых через сенсоры. Предложенная методика позволяет улучшить точность предсказаний и повысить адаптивность системы к быстро изменяющимся условиям, что существенно повышает эффективность работы промышленных объектов.

Ключевые слова: гибридная архитектура, цифровой двойник, ИИ-аналитика, нейросетевые алгоритмы, прогнозирование состояния, LSTM (Long Short-Term Memory), CNN (Convolutional Neural Networks), адаптивность, мониторинг, промышленные объекты.

MODELING OF DIGITAL COUNTERPARTS OF CYBERPHYSICAL SYSTEMS USING NEURAL NETWORK ALGORITHMS FOR PREDICTING THE STATE

A.V. Spineva¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the development and application of digital counterparts of cyberphysical systems (CFS) for monitoring and forecasting the condition of industrial facilities in real time. The main focus is on integrating neural network algorithms such as recurrent neural networks (RNN) and long-term short-term memory (LSTM) networks to dynamically predict changes in the state of a physical object based on data received through sensors. The proposed technique makes it possible to improve the accuracy of predictions and increase the adaptability of the system to rapidly changing conditions, which significantly increases the efficiency of industrial facilities.

Keywords: hybrid architecture, digital twin, AI analytics, neural network algorithms, state prediction, LSTM (Long Short-Term Memory), CNN (Convolutional Neural Networks), adaptivity, monitoring, industrial facilities.

Цифровые двойники (ЦД) – виртуальные модели физических объектов, используемые для мониторинга и оптимизации их работы в реальном времени. В киберфизических системах (КФС) ЦД синхронизируют физические и виртуальные процессы, что позволяет эффективно управлять объектами, минимизируя риски отказов и повышая их эффективность. ЦД активно применяются в энергетике, машиностроении и транспорте для управления сложными системами.

Прогнозирование состояния объектов в КФС требует обработки больших объемов данных от сенсоров в реальном времени, что традиционными методами невозможно эффективно выполнить. Нейросетевые алгоритмы, такие как рекуррентные нейронные сети (RNN) и LSTM, значительно улучшают прогнозирование состояний объектов, так как могут выявлять скрытые зависимости и адаптироваться к изменениям. [1]

Разработка гибридной архитектуры «физический объект – цифровой двойник – ИИ-аналитика» направлена на интеграцию этих компонентов для повышения точности прогнозирования и оперативности принятия решений. Архитектура позволяет прогнозировать отклонения и аномалии, оперативно реагировать на изменения и оптимизировать процессы. Важной задачей является создание методики моделирования цифровых двойников с использованием нейросетевых алгоритмов и интеграция ИИ-аналитики. В следующем разделе будут рассмотрены цели и проблемы разработки гибридной архитектуры и применения нейросетевых алгоритмов в системе цифровых двойников.

Предложенная гибридная архитектура «физический объект – цифровой двойник – ИИ-аналитика» представляет собой систему для мониторинга, анализа и прогнозирования состояния объектов в реальном времени. Цифровой двойник

использует ИИ-аналитику для обработки данных от сенсоров и принятия решений. Такой подход улучшает точность прогнозирования, что важно для эффективного управления объектами.

Нейросетевые алгоритмы, такие как LSTM и CNN, играют ключевую роль в прогнозировании. LSTM эффективно работает с временными рядами и историческими данными, а CNN анализирует скрытые закономерности в данных, включая изображения и сигналы от датчиков. Это позволяет адаптировать систему под изменяющиеся условия.

Основной задачей архитектуры является интеграция данных в реальном времени, синхронизация данных с минимизацией задержек и ошибок. Использование алгоритмов интерполяции и фильтрации помогает повысить точность прогноза и актуальность анализа. [2]

Нейросетевые алгоритмы адаптируются к изменениям в динамике объектов, что позволяет системе прогнозировать отклонения и аномалии. Цель архитектуры – повысить точность прогнозирования, устойчивость к изменениям и адаптивность системы. Проблемой остаётся синхронизация данных и учёт динамических изменений параметров объектов, для решения которых требуются методы коррекции и адаптации моделей прогнозирования.

В следующем разделе будет подробнее рассмотрено, как архитектура решает эти задачи с использованием нейросетевых алгоритмов.

В рамках исследования была разработана гибридная архитектура «физический объект – цифровой двойник – ИИ-аналитика» для мониторинга и прогнозирования состояния объектов в реальном времени. Архитектура использует данные от сенсоров для создания цифровых двойников, которые интегрируются с ИИ-аналитикой для прогнозирования состояния объектов.

Для обучения использовались данные реальных и синтетических объектов, включая временные ряды, данные о температуре, давлении и вибрациях. Алгоритмы LSTM и CNN были выбраны для обработки временных рядов и выявления закономерностей в данных. LSTM предсказывала колебания температуры и давления, а CNN анализировала вибрации и изображения для выявления неисправностей. [3]

Тестирование проводилось на реальных промышленных объектах, таких как переработка металлов и насосные станции. Результаты показали, что нейросетевые методы значительно превосходят традиционные методы, такие как

ARIMA, в условиях динамичных изменений. Например, LSTM смогла предупредить о перегреве оборудования за несколько часов до отказа, а CNN улучшила диагностику вибраций по сравнению с FFT-анализом.

Также была проверена устойчивость моделей к шуму и неполным данным, что подтвердило высокую стабильность архитектуры. Результаты экспериментов показали, что предложенная система более точно прогнозирует изменения и адаптируется к нестандартным условиям, улучшая управление промышленными объектами.

Для проверки гипотезы о гибридной архитектуре «физический объект – цифровой двойник – ИИ-аналитика» проведены эксперименты на реальных промышленных установках, таких как насосные станции и энергетические установки. Эксперименты включали мониторинг параметров, таких как температура, давление, вибрация и механические нагрузки с использованием сенсоров. [4]

Данные обрабатывались нейросетевыми алгоритмами, такими как LSTM и CNN, для предсказания состояний объектов. Результаты прогнозирования сравнивались с фактическими показателями, что позволило оценить точность моделей через RMSE и MAE. Нейросетевые модели показали значительно лучшую точность, чем традиционные методы, такие как ARIMA и линейная регрессия. В условиях стабильной работы оборудования LSTM продемонстрировала ошибку 1,25, а ARIMA – 2,15, что подтверждает более высокую точность нейросетевых методов.

Таблица 1 Точность прогнозирования состояния объектов (RMSE)

Метод	Температура (°C)	Давление (бар)	Вибрация (м/с ²)
LSTM	1.25	0.80	0.15
ARIMA	2.15	1.30	0.25
Линейная регрессия	2.45	1.60	0.30

Нейросетевые модели, такие как LSTM, сохраняли точность прогнозирования при изменении условий эксплуатации, например, при перегрузках или внешних нарушениях. В условиях перегрузки LSTM показала ошибку 2.05, а ARIMA – 3.35, что подтверждает преимущества нейросетевых методов. Также,

при испытаниях на устойчивость к шуму и потерям данных, LSTM и CNN продемонстрировали высокую устойчивость к недостаточности данных, эффективно восстанавливая информацию на основе предыдущих значений.

Преимущество предложенной архитектуры заключается в её способности интегрировать данные в реальном времени и адаптироваться к изменениям, что невозможно с традиционными методами. LSTM и CNN позволяют прогнозировать состояние объекта и выявлять скрытые зависимости, что особенно важно для анализа временных рядов и данных с датчиков.

Однако нейросетевые модели сталкиваются с проблемами высокой вычислительной нагрузки и необходимостью регулярной адаптации к изменениям в реальном времени. Для решения этих проблем нужны методы оптимизации и самообучения моделей. Также перспективы улучшения включают интеграцию дополнительных данных, таких как внешняя среда и состояние оборудования, а также использование гибридных методов с теориями графов для повышения отказоустойчивости.

В следующем разделе будут рассмотрены результаты и ограничения архитектуры, а также перспективы её применения в других областях.

Предложенная гибридная архитектура «физический объект – цифровой двойник – ИИ-аналитика» с использованием нейросетевых алгоритмов прогнозирования представляет собой значительный шаг в мониторинге и управлении промышленными объектами в реальном времени. Система интегрирует физический объект с виртуальной моделью, обеспечивая точную аналитику и диагностику с использованием LSTM и CNN. Эксперименты показали, что эта архитектура значительно улучшает точность прогнозирования и устойчивость системы к изменениям, а также адаптируется к нестабильности данных, что превосходит традиционные методы.

Основное достоинство архитектуры – способность эффективно работать в условиях динамичных процессов, где параметры объекта изменяются в реальном времени. Прогнозирование с использованием нейросетей помогает своевременно выявлять отклонения, предотвращать сбои и повышать надежность эксплуатации. Адаптивность и самообучение делают архитектуру высокоэффективной для таких задач.

Перспективы внедрения технологии в отрасли, такие как энергетика, машиностроение и транспорт, включают улучшение управления, повышение качества обслуживания и сокращение затрат. Модели могут анализировать не только отдельные объекты, но и целые производственные цепочки.

Однако система требует оптимизации вычислительных процессов и улучшения методов обработки данных и синхронизации между объектом и цифровым двойником. Дальнейшая разработка методов самообучения и добавление новых данных улучшат точность прогноза и универсальность модели. Внедрение и развитие технологии обеспечат более высокую автоматизацию и оптимизацию производственных процессов.

Список литературы

1. Новикова, Т. П. Математическая модель интермодальных грузовых перевозок / Т. П. Новикова, С. А. Евдокимова, А. И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 62-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70. – EDN ERRGGK.
2. Вертиль, Н. Н. Моделирование и реинжиниринг бизнес-процессов в промышленности с применением цифровых двойников / Н. Н. Вертиль, Т. Н. Дубкова // Донецкие чтения - 2025: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Материалы X Международной научной конференции, посвященной 60-летию создания Донецкого научного центра, Донецк, 05–07 ноября 2025 года. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2025. – С. 134-136. – EDN YIDAJU.
3. Морозова, Д. М. Сравнительный анализ методов моделирования цифровых двойников для бортовой системы управления / Д. М. Морозова, О. А. Галушкина // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики и 10-летию науки и технологий. В 3-х томах, Красноярск, 07–11 апреля 2025 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2025. – С. 788-790. – EDN HNIDVI.
4. Антощенко, Е. А. Особенности моделирования цифрового двойника при прогнозировании пожарной безопасности объекта / Е. А. Антощенко, К. Д. Конопелькин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики и 10-летию науки и технологий. В 3-х томах, Красноярск, 07–11 апреля 2025 года. – Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2025. – С. 797-799. – EDN MOVNRL.

References

1. Novikova, T. P. Mathematical model of intermodal freight transportation / T. P. Novikova, S. A. Evdokimova, A. I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 62-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70. – EDN ERRGGK.
2. Vertil, N. N. Modeling and reengineering of business processes in industry using digital twins / N. N. Vertil, T. N. Dubkova // Donetsk Readings - 2025: Education, Science, Innovation, Culture and Modern Challenges : Proceedings of the X International Scientific Conference dedicated to the 60th anniversary of the establishment of the Donetsk Scientific Center, Donetsk, November 05-07, 2025. Donetsk: Donetsk National University, 2025. pp. 134-136. - EDN YIDAJU.
3. Morozova, D. M. Comparative analysis of digital twin modeling methods for an on-board control system / D. M. Morozova, O. A. Galushkina // Actual problems of aviation and cosmonautics : A collection of materials of the XI International Scientific and Practical Conference dedicated to Cosmonautics Day and the 10th Anniversary of Science and Technology. In 3 volumes, Krasnoyarsk, April 07-11, 2025. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, 2025. – pp. 788-790. – EDN HNIDVI.
4. Antoshchenko, E. A. Features of modeling a digital twin in predicting the fire safety of an object / E. A. Antoshchenko, K. D. Konopelkin // Actual problems of aviation and cosmonautics : A collection of materials of the XI International Scientific and Practical Conference dedicated to Cosmonautics Day and the 10th anniversary of Science and Technology. In 3 volumes, Krasnoyarsk, April 07-11, 2025. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, 2025. – pp. 797-799. – EDN MOVNRL.

СЕКЦИЯ 2

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DOI: 10.58168/MIST2026_616-626

УДК 630*57:004

ПРОГРАММА «ЗЕЛЁНЫЙ ЩИТ» КАК ИТ-РЕШЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ

Ю.О. Авилов¹, Е.А. Аникеев¹, И.Н. Занин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Эта статья посвящена актуальной проблеме незаконных лесозаготовок, наносящих серьёзный экологический и экономический ущерб: от обезлесения и утраты биоразнообразия до потерь госбюджета и криминализации лесного сектора. В статье показано, что традиционные методы контроля (наземные инспекции, отчёты лесопользователей) неэффективны из-за высокой стоимости, низкой оперативности, ограниченного географического охвата и коррупционных рисков. В качестве технологического решения представлена интеллектуальная система - компьютерная программа «Зелёный щит», разработанная учёными кафедры Компьютерных технологий и микроэлектронной инженерии ВГЛТУ. Программа реализует моделирование систем и процессов лесного мониторинга через автоматизированный анализ спектральных (коэффициенты отражения в видимом, ближнем и среднем ИК-диапазонах) и текстурных данных (однородность крон, размер деревьев, равномерность распределения, доля прогалин). Ключевой элемент моделирования - вычисление NDVI (нормализованного разностного вегетационного индекса), позволяющего объективно оценивать состояние древостоев.

Ключевые слова: охрана лесов, незаконные лесозаготовки, мониторинг лесов, NDVI, дистанционное зондирование, ИИ, «Зелёный щит».

THE «GREEN SHIELD» PROGRAM AS AN IT SOLUTION FOR MONITORING THE STATE OF FORESTS

Yu.O. Avilov¹, E.A. Anikeev¹, I.N. Zanin¹

¹ Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of illegal logging, which causes serious environmental and economic damage: from deforestation and loss of biodiversity to losses of the state budget and criminalization of the forest sector. The article shows that traditional control methods (ground inspections, reports from forest users) are ineffective due to high cost, low efficiency, limited geographical coverage and corruption risks. An intelligent system, the Green Shield computer program, developed by scientists from the Department of Computer Technology and Microelectronic Engineering at VNSTU, is presented as a technological solution. The program implements modeling of forest monitoring systems and processes through automated analysis of spectral (reflection coefficients in the visible, near and medium IR ranges) and textural data (uniformity of crowns, size of trees, uniformity of distribution, proportion of clearings). The key element of the simulation is the calculation of the NDVI (normalized difference vegetation index), which allows an objective assessment of the state of stands.

Keywords: forest protection, illegal logging, forest monitoring, NDVI, remote sensing, AI, "Green Shield".

Введение

Незаконные лесозаготовки остаются одной из острейших экологических проблем, которые ведут к обезлесению, утрате биоразнообразия, нарушению углеродного баланса и экономическим потерям для государства. В условиях обширных лесных массивов традиционный контроль затруднён, поэтому особую актуальность приобретают автоматизированные методы мониторинга на основе анализа данных.

Последствия нелегальных лесозаготовок

Нелегальные лесозаготовки – одна из самых острых экологических и экономических проблем современности. Такие рубки ведутся в обход закона и наносят серьёзный ущерб природным ресурсам [1].

Их ключевая особенность – отсутствие правового основания: работы выполняются без необходимых разрешений либо с грубыми нарушениями утверждённых регламентов. Это не единичные случаи, а системная угроза лесам.

Основные признаки нелегальных рубок достаточно чётко очерчены. Во-первых, полное отсутствие разрешительной документации, когда заготовители действуют без официальных согласований. Во-вторых, нередко фиксируется превышение разрешённых объёмов вырубки – изымается значительно больше древесины, чем позволяет лицензия. В-третьих, нарушаются установленные места и сроки заготовки: рубки проводятся в заповедных зонах, на охраняемых территориях или в периоды, когда лесосечные работы запрещены (напри-

мер, во время гнездования птиц или нереста рыб). Наконец, широко распространена практика сокрытия реальных объёмов заготовленной древесины, что позволяет уклоняться от налогов и лесовосстановительных платежей.

Какой вред наносят незаконные вырубки

Если говорить о том, к чему приводят нелегальные рубки, то здесь сразу несколько неприятных последствий. Экологи страдают: леса исчезают, почва разрушается, водоохранная функция лесов падает, да и разнообразие живых существ сокращается. Экономика тоже в минусе: государство недополучает пошлины, а на рынке древесины возникает демпинг – честным заготовителям становится сложно конкурировать. Ещё и социальные конфликты: местные жители, которым лес жизненно необходим, начинают враждовать с теми, кто рубит незаконно. Плюс ко всему – коррупция и криминал в лесной сфере.

Почему с этим так трудно бороться? Потому что нарушения скрытные и масштабные. Леса часто находятся далеко, в болотах, горах или там, где нет нормальных дорог. Контролировать такие места сложно. А недобросовестные рубщики пользуются пробелами в законах, подделывают документы и придумывают теневые схемы.

Значит, проблема не просто в том, чтобы наказать нарушителей. Нужна долгосрочная политика по сохранению природы. Жёсткий контроль должен сочетаться с поддержкой легального бизнеса, сертифицированных компаний и грамотного лесопользования. Только тогда удастся найти баланс между выгодой и экологией, оставив леса будущим поколениям.

Почему старые методы контроля уже не работают

Контролировать лесозаготовки – дело важное. Десятилетиями главными инструментами были проверки на земле да отчёты тех, кто рубит лес. Но эти методы, как ни странно, всё хуже справляются с задачами. Особенно сейчас, когда объёмы вырубок растут и нужно быстро реагировать на нарушения. Давайте по порядку.

Слишком дорого и сложно. Наземные проверки – это люди, машины, бензин, снаряжение. Инспекторы едут на место, меряют, сверяют бумаги, ищут нарушения. Каждый выезд стоит денег. В итоге полноценный мониторинг оказывается очень дорогим, и охватывают только выборочные участки.

Данные приходят слишком поздно. С момента рубки до того, как инспектор её заметит, проходит неделя, а то и месяц. За это время нарушители прячут

концы, вывозят древесину, отмывают её через посредников. Отчёты лесопользователей тоже сдают постфактум – в реальном времени ничего не отследить. А значит, вовремя остановить незаконную рубку не получается.

Не добраться до многих мест. В России леса часто растут в труднодоступных районах: болота, горы, бездорожье. Инспекторы физически не могут объехать все участки, особенно в отдалённых регионах. Большая часть лесных территорий остаётся практически без контроля. Нарушители этим пользуются.

Коррупция. Когда инспектор постоянно общается с лесопользователями, возникают неформальные договорённости: можно и взятку дать, и отчёты подделывать. Даже честные сотрудники не всегда могут повлиять на систему – проверки выборочные, доказательств часто нет (фото, видео). От ответственности уходят, доверие к контролю падает, и превентивный эффект стремится к нулю.

Значит, назрела необходимость переходить на современные технологии. Спутники, дроны, анализ больших данных, дистанционное зондирование – всё это способно преодолеть недостатки старых подходов. А именно:

- охватывать огромные территории круглосуточно;
- видеть изменения почти в реальном времени;
- давать объективные доказательства (снимки, привязку к координатам);
- уменьшить влияние человеческого фактора.

Обновление системы контроля – не просто замена техники. Это стратегическая необходимость. Цифровые инструменты сделают надзор прозрачнее, быстрее и дешевле, снизив риски, которые несут старые методы.

Программа «Зелёный щит» как решение проблемы незаконной рубки лесов

Сегодня, когда экологические угрозы растут, очень нужен оперативный и точный мониторинг состояния лесов [2]. Вот тут и выручает программа «Зелёный щит» [3]. Её разработали в Воронежском лесотехническом университете (ВГЛТУ). По сути, это новый инструмент, который оценивает здоровье лесов по спектральным и текстурным данным.

Суть решения – автоматизированный анализ ключевых индикаторов состояния древостоев. Программа обрабатывает входные параметры: коэффициенты отражения в различных диапазонах спектра (видимом, ближнем и среднем инфракрасном), а также текстурные характеристики лесного покрова (однородность крон, размер деревьев, равномерность распределения, долю прогалин). На

их основе вычисляются интегральные показатели, в частности NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс), и формируется объективная оценка состояния леса [4].

Важность программы определяется её практической направленностью. «Зелёный щит» позволяет:

- своевременно выявлять признаки деградации лесов (вырубки, болезни, засухи);
- количественно оценивать степень тревожности ситуации;
- принимать обоснованные управленческие решения по охране и восстановлению лесов;
- снижать затраты на наземный мониторинг за счёт предварительной дистанционной оценки.

Область применения охватывает:

- государственные органы управления лесами (региональные лесничества, Рослесхоз);
- природоохранные организации и экопатрули;
- научно-исследовательские институты, занимающиеся лесной экологией;
- образовательные программы по лесопромышленному и дистанционному зондированию.

Над программой трудились учёные с кафедры компьютерных технологий и микроэлектронной инженерии ВГЛТУ. Руководитель проекта – кандидат технических наук Е.А. Аникеев. Именно он придумал концептуальную модель анализа и выбрал ключевые индикаторы, по которым можно оценивать состояние лесов. При этом он опирался на современные методы лесной биофизики и дистанционного зондирования. Его работа стала научной основой для алгоритмов программы.

Техническую часть взял на себя программист Ю.О. Авилов. Он написал архитектуру приложения на C# версии 3.0 [5], причём так, чтобы оно работало с Visual Studio 2013 и .NET 3.5 [6]. Авилов сделал проверку входных данных, расчёт NDVI и текстурных метрик, а ещё – удобный интерфейс, который интуитивно понятен пользователю. Особое внимание он уделил тому, чтобы программа не вылетала при ошибках ввода и чтобы результаты было легко читать.

```

ЗЕЛЁНЫЙ ЩИТ. ВЕРСИЯ 1.0
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОГО ПОКРОВА
=====
===ВГЛТУ=====кафедра КТиМи===
=====
===Авилов===Аникеев===Занин===
=====
СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
Введите значения отражения (в долях единицы от 0,0 до 1,0):
Видимый диапазон (0,4–0,7 мкм): 0,5
Ближний ИК-диапазон (0,7–1,3 мкм): 0,9
Средний ИК-диапазон (1,3–3,0 мкм): 1,0
ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ
Введите характеристики лесного покрова:
Однородность кронового покрова (0,0–1,0): 0,3
Средний размер крон (м, от 1 до 50): 25
Равномерность распределения деревьев (0,0–1,0): 0,1
Доля прогалин и пустот (0,0–1,0): 0,1
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА
-----
Спектральный анализ: Пониженный NDVI (NDVI = 0,29) – возможные нарушения (уровень тревожности: 65%)
Текстурный анализ: низкая однородность кронового покрова (30,0%); неравномерное пространственное распределение (10,0%)
(уровень тревожности: 80%)
ИТОГ:
КРИТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ: Высока вероятность незаконной вырубki!
Нажмите любую клавишу для завершения...

```

Рисунок 1 – Демонстрация программы «Зелёный щит. Версия 1.0» [3]

Как создавали «Зелёный щит»

Последний шаг – тестирование и анализ данных – выполнил И.Н. Занин. Он прогнал расчёты на реальных и учебных наборах данных, проверил, как индикаторы реагируют на разные нарушения (вырубки, засуху, фрагментацию леса), а также отработал варианты, как объяснять полученные показатели. Благодаря его усилиям программа получила обоснованные границы тревожности – от 0,05 до 0,95 – и понятные рекомендации, что делать дальше.

Таким образом, «Зелёный щит» воплощает синтез научных знаний и программных технологий, позволяя переводить сложные биофизические показатели в понятные управленческие решения. Первая версия уже продемонстрировала эффективность в учебных и пилотных проектах ВГЛТУ. Для масштабирования на широкий круг задач лесной охраны и мониторинга предполагается доработать программу, расширив её функциональные возможности.

Перспективы развития системы представлены тремя версиями:

- «Зелёный щит. Версия 1.0» – базовый мониторинг по спектральным и текстурным данным, которые вводит пользователь.
- «Зелёный щит. Версия 2.0» – к уже реализованным возможностям добавляется анализ методом сканирования фотографий лесного массива.
- «Зелёный щит. Версия 3.0» – интеграция программы в беспилотные летательные аппараты (дроны) для фиксации данных камерой в реальном времени.

Заключение

В ходе исследования рассмотрена проблема незаконных лесозаготовок – одного из наиболее деструктивных факторов, подрывающих экологическое и экономическое благополучие страны. Установлено, что традиционные методы контроля (наземные инспекции, отчётность лесопользователей) обладают существенными ограничениями: высокой ресурсоёмкостью, низкой оперативностью, ограниченным географическим охватом и уязвимостью к коррупционным схемам. В условиях обширных и труднодоступных лесных массивов эти недостатки делают системный мониторинг практически неосуществимым.

В качестве технологического ответа на обозначенные вызовы представлена информационная система «Зелёный щит. Версия 1.0», разработанная учёными ВГЛТУ. Программа реализует комплексное моделирование процессов лесного мониторинга на основе анализа спектральных (в видимом, ближнем и среднем ИК-диапазонах) и текстурных данных (однородность крон, размер деревьев, равномерность распределения, доля прогалин). Ключевым индикатором выступает NDVI, обеспечивающий объективную количественную оценку состояния древостоев. Система переводит сложные биофизические параметры в понятные управленческие решения, минимизируя влияние человеческого фактора.

Практическая значимость «Зелёного щита» подтверждается его функциональными возможностями. Система прошла апробацию в учебных и пилотных проектах ВГЛТУ, продемонстрировав работоспособность и потенциал для масштабирования. Перспективные этапы развития (версии 2.0 и 3.0) предусматривают расширение функционала: от анализа фотографий лесного массива до интеграции с беспилотными летательными аппаратами для фиксации данных в реальном времени.

Список литературы

1. Право и реальный сектор экономики России : монография / под общей редакцией И. В. Ершовой, В. А. Лаптева. – Москва : Проспект, 2024. – 480 с. – ISBN 978-5-392-40735-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/398993> (дата обращения: 16.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Программирование на языке C# : учебное пособие / Р. Г. Гильванов, Л. М. Божко, А. Д. Хомоненко, И. Д. Липанов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2024. – 89 с. – ISBN 978-5-7641-1977-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/439523> (дата обращения: 16.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Проектирование графических интерфейсов в среде Visual Studio на базе C#: учебное пособие / В. В. Турупалов, Н. К. Андриевская, Т. В. Мартыненко, Е. А. Хрюкин. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 232 с. – ISBN 978-5-9729-2259-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/499829> (дата обращения: 16.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Мартыненко, Т. В. Основы визуального программирования в среде VISUAL STUDIO на базе C#: учебное пособие / Т. В. Мартыненко, В. В. Турупалов, Н. К. Андриевская. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 232 с. – ISBN 978-5-9729-1225-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/346526> (дата обращения: 16.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Кириенко, Н. А. Основы алгоритмизации и программирования. Лабораторный практикум : учебное пособие : в 2 частях / Н. А. Кириенко, Е. А. Полоско, А. А. Ефремов. – Минск : БГУИР, [б. г.]. – Часть 1 : Использование языка Си в интегрированной среде разработки Visual Studio – 2024. – 123 с. – ISBN 978-985-543-704-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/479564> (дата обращения: 16.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Акименко, А. В. Алгоритм расчета теплопритоков холодильника / А. В. Акименко, Е. А. Аникеев, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 7-15. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-7-15. – EDN GAZNTP.

7. Полуэктов, А. В. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

8. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

9. Полуэктов, А. В. Моделирование влияния электромагнитных полей на микросхемы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, К. В. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

10. Новикова, Т. П. Математическая модель интермодальных грузовых перевозок / Т. П. Новикова, С. А. Евдокимова, А. И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 62-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70. – EDN ERRGGK.

11. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

12. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

13. Создание средств проверки электрической схемы с использованием схемы тестовых внешних воздействий / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, К. В. Литвинов, М. А. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

References

1. Law and the real sector of the Russian economy : a monograph / under the general editorship of I. V. Ershova, V. A. Laptev. – Moscow : Prospekt, 2024. – 480 p. – ISBN 978-5-392-40735-4. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/398993> (date of request: 02/16/2026). – Access mode: for authorization - users

2. Programming in C# : a textbook / R. G. Gilvanov, L. M. Bozhko, A.D. Khomonenko, I. D. Lipanov. – Saint Petersburg : PGUPS, 2024. – 89 p. – ISBN 978-5-7641-1977-9. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/439523> (date of request: 02/16/2026). – Access mode: for authorization - users.

3. Designing graphical interfaces in the Visual Studio environment based on C# : a textbook / V. V. Turupalov, N. K. Andrievskaya, T. V. Martynenko, E. A. Khryukin. Vologda : Infra-Engineering, 2025. 232 p. ISBN 978-5-9729-2259-8. Text : electronic

// Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/499829> (date of access: 02/16/2026). – Access mode: for authorization - users.

4. Martynenko, T. V. Fundamentals of visual programming in the VISUAL STUDIO environment based on C# : a textbook / T. V. Martynenko, V. V. Turupalov, N. K. Andrievskaya. Vologda : Infra-Engineering, 2023. 232 p. ISBN 978-5-9729-1225-4. Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/346526> (date of request: 02/16/2026). – Access mode: for authorization - users.

5. Kirienko, N. A. Fundamentals of algorithmization and programming. Laboratory workshop : textbook : in 2 parts / N. A. Kiriyenko, E. A. Polosko, A. A. Efremov. – Minsk : BGUIR, [B. G.]. – Part 1 : Using the C language in the integrated development environment of Visual Studio – 2024. – 123 p. – ISBN 978-985-543-704-9. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/479564> (date of request: 02/16/2026). – Access mode: for authorization – users.

6. Akimenko, A.V. Algorithm for calculating refrigerator heat flows / A.V. Akimenko, E. A. Anikeev, R. Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 7-15. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-7-15. – EDN GAZNTP.

7. Poluektov, A.V. Modeling of attenuation of ionizing radiation due to the protective housing of microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, A. I. Zarevich // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

8. Increasing the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, A.V. Achkasov, Yu.A. Chevychelov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIK-KRO.

9. Poluektov, A.V. Modeling the influence of electromagnetic fields on microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, K. V. Zolnikov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

10. Novikova, T. P. Mathematical model of intermodal freight transportation / T. P. Novikova, S. A. Evdokimova, A. I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 62-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70. – EDN ERRGGK.

11. Poluektov A.V., Zolnikov K. V., Achkasov A.V., Chevychelov Yu.A. Improving the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems // Modeling systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

12. Computer modeling of electrical circuit operability in design automation systems / V. K. Zolnikov, S. V. Stoyanov, E. V. Shmakov, N. N. Litvinov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

13. Creation of means of checking an electrical circuit using a circuit of test external influences / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, K. V. Litvinov, M. A. Solodilov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

ТЁМНАЯ СТОРОНА АЛИСЫЮ.О. Авилов¹, Е.А. Аникеев¹, И.Н. Занин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится комплексный анализ архитектуры и принципов работы виртуального ассистента Alice AI. Исследуется внутренняя структура Alice AI: многослойность архитектуры, механизмы обучения нейросетевых моделей на разнородных массивах данных из интернета, технологические стеки (Python, C++, PyTorch, TensorFlow) и их влияние на функциональность и уязвимости системы. Особое внимание уделяется «тёмной стороне» языковых моделей: алгоритмической предвзятости, феномену «галлюцинаций», «эффекту эха», рискам утечек персональных данных и манипулятивного воздействия. Подробно разбираются источники проблем - от токсичного контента в обучающих выборках до противоречивых утверждений, интегрируемых в модель без проверки достоверности. Рассматриваются существующие механизмы защиты и контроля: модерация контента, этические ограничения разработчиков, аудит моделей на предвзятость и безопасность, юридические нормы в сфере защиты данных. Подчёркивается, что эффективность этих мер зависит не только от технологического совершенствования, но и от уровня цифровой грамотности пользователей. Делается вывод о необходимости комплексного подхода к безопасному взаимодействию с ИИ-системами. Статья вносит вклад в формирование культуры безопасного цифрового взаимодействия в условиях технологической трансформации.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), виртуальные ассистенты, нейросетевые модели, машинное обучение, моделирование систем и процессов, обработка естественного языка (NLP), алгоритмическая предвзятость, аудит ИИ-систем, цифровая грамотность, защита персональных данных.

THE DARK SIDE OF ALICEYu.O. Avilov¹, E.A. Anikeev¹, I.N. Zanin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of the architecture and principles of the Alice AI virtual assistant. The internal structure of Alice AI is investigated: the layered architecture, the mechanisms of training neural network models on heterogeneous data arrays from the Internet, technological stacks (Python, C++, PyTorch, TensorFlow) and their impact on the functionality and vulnerabilities of the system. Special attention is paid to the "dark side" of language models: algorithmic bias, the phenomenon of "hallucinations", the "echo effect", the risks of personal data leaks and manipulative influence. The sources of problems are analyzed in detail, from toxic content in training samples to contradictory statements integrated into the model without verification. The existing protection and control mechanisms are considered: content moderation, ethical restrictions of developers, audit of models for bias and security, legal norms in the field of data protection. It is emphasized that the effectiveness of these measures depends not only on technological improvement, but also on the level of digital literacy of users. The conclusion is made about the need for an integrated approach to secure interaction with AI systems. The article contributes to the formation of a culture of secure digital interaction in the context of technological transformation.

Keywords: artificial intelligence (AI), virtual assistants, neural network models, machine learning, modeling of systems and processes, natural language processing (NLP), algorithmic bias, audit of AI systems, digital literacy, personal data protection.

Введение

Виртуальный ассистент Алиса давно стала привычным элементом цифровой среды для миллионов пользователей. Её мягкий, дружелюбный голос, способность быстро находить ответы на вопросы и выполнять разнообразные поручения создают ощущение почти магического помощника, всегда готового прийти на помощь.

Между тем за фасадом приветливого голоса находится сложная техническая «изнанка» - многоуровневая система алгоритмов машинного обучения, огромных массивов данных, серверных мощностей [1] и программных решений. Алиса – это не самостоятельный разум, а продукт многолетней работы разработчиков, обученный на колоссальных объёмах текстовой и речевой информации [2]. Её «интеллект» – это результат математического моделирования, статистического анализа и тонкой настройки нейросетевых архитектур [3].

Понимание внутренней работы системы, её «тёмной стороны» позволяет выявить потенциальные риски для пользователей:

- утечками персональных данных;
- алгоритмической предвзятостью;
- манипулятивным воздействием;
- зависимостью от технологических решений.

Как любая сложная техническая система, механизм Алисы имеет свои уязвимости и ограничения. Они могут проявляться в различных формах: от ошибок распознавания речи до этических дилемм при формировании ответов. Осознание этих аспектов необходимо для выстраивания безопасного и продуктивного взаимодействия с технологией, чтобы она служила инструментом расширения поставленных задач, а не источником новых проблем.

Изучение «тёмной стороны» Алисы - это вклад в формирование культуры безопасного цифрового взаимодействия, необходимой для устойчивого развития общества в условиях технологической трансформации.

Ядро системы: что прячется под капотом

Архитектура Alice AI – это не единый разум, а многослойная система, где каждый уровень выполняет свою функцию, тесно переплетаясь с остальными. Распознавание речи, понимание интента, генерация ответа - каждый этап проходит через сотни, взаимосвязанных модулей. Их слаженная работа создаёт иллюзию осмысленного диалога, но стоит одному звену дать сбой - и вся конструкция может зашататься.

Сердце этой системы - нейросетевые модели, обученные на гигантских массивах данных. Их объём исчисляется петабайтами: открытые веб-ресурсы, книги, статьи, форумы, чаты, комментарии. Алиса впитывает всё без разбора - научные труды соседствуют с бульварной прессой, академические дискуссии - с токсичными перепалками в соцсетях. В этом цифровом котле варится её «знание» о мире.

Но источники данных – это не тщательно отобранная библиотека, а хаотичный слепок интернета во всей его противоречивости. Википедия соседствует с сомнительными блогами, научные публикации - с конспирологическими теориями, литературные шедевры - с потоком интернет-сленга. Алиса не умеет отличать истину от лжи, авторитетный источник от фейка - она просто поглощает информацию, фиксируя статистические закономерности, связи между словами и фразами.

Механизм «поглощения» информации напоминает работу бездушного пылесоса. Система сканирует тексты, разбивает их на токены, выстраивает семантические связи. Противоречивые утверждения не отбрасываются - они интегрируются в общую модель, создавая внутренние конфликты. Если в одной части обучающего набора говорится, что Земля плоская, а в другой - что шарообразная,

Алиса не выберет истину. Она запомнит оба варианта и может выдать любой из них в зависимости от контекста запроса и веса связей в нейросети.

Токсичные данные - ещё одна тёмная сторона обучения. Оскорбления, агрессия, дискриминационные высказывания, призывы к насилию – всё это присутствует в интернет-текстах и неизбежно попадает в обучающие выборки. Даже если разработчики пытаются фильтровать контент, абсолютная очистка невозможна: токсичность часто маскируется за иронией, сарказмом, эвфемизмами. В результате в «подсознании» Алисы откладываются опасные паттерны, которые могут проявиться в неожиданных ситуациях.

Проблема усугубляется тем, что внутренние процессы нейросетей остаются «чёрным ящиком». Разработчики могут отследить входные и выходные данные, но не всегда понимают, как именно модель пришла к тому или иному решению.

Скрытая зависимость компонентов создаёт дополнительные угрозы. Модуль распознавания речи полагается на словари, сформированные на основе старых данных. Модуль понимания интента использует семантические сети, которые могли устареть. Генератор ответов опирается на шаблоны, впитавшие устаревшие или ошибочные представления. Система работает, пока все части синхронизированы, но малейший дисбаланс - и иллюзия разумности рассыпается, обнажая хаотичную машину под капотом.

Архитектура Alice AI – это не просто технология, а хрупкий баланс множества факторов. Её сила - в способности адаптироваться и учиться, но именно эта способность делает её уязвимой. Каждый новый фрагмент данных, каждое обновление, каждая оптимизация - потенциальный источник непредсказуемых последствий. Под дружелюбным голосом скрывается сложная, нестабильная система, чьи внутренние процессы остаются загадкой даже для создателей.

Язык кода: на чём собрана «личность» Алисы

Для критически важных модулей, где скорость обработки имеет первостепенное значение, используется C++. Этот язык программирования позволяет выжать максимум производительности из аппаратных ресурсов, что критично при обработке миллионов запросов в реальном времени.

Взаимодействие с пользователем реализуется через разные интерфейсы, и здесь вступают в игру другие технологии:

- JavaScript/TypeScript - для веб-версий Алисы и разработки навыков (навыков-приложений, расширяющих функционал);

- Java/Kotlin - для мобильных приложений на платформе Android, обеспечивающих интеграцию с экосистемой устройств.

Эти языки создают «лицо» системы - то, что видит и с чем взаимодействует пользователь, формируя впечатление о «личности» ассистента.

За обучением и работой нейросетей стоят мощные фреймворки:

- PyTorch и TensorFlow - для создания, обучения и развёртывания нейросетевых моделей [5];

- FastAPI и Flask - для построения REST-сервисов, обеспечивающих взаимодействие между компонентами.

- Инфраструктуру поддерживают Kubernetes для оркестрации контейнеров и Docker для их упаковки, а хранение данных распределено между различными базами данных, оптимизированными под конкретные задачи - от быстрых key-value хранилищ до аналитических СУБД.

Тени данных. Откуда берётся зло в работе языковых моделей

Выше уже говорилось, что Алиса учится на огромных массивах информации из сети. И часть этих данных несёт в себе скрытые предрассудки – гендерные, расовые, культурные. Общество ими пропитано, вот модель и начинает их воспроизводить в своих ответах. Даже если разработчики специально не закладывали ничего такого. Параллельно есть ещё проблема «галлюцинаций»: нейросеть выдумывает факты, которых на самом деле не было. Почему так происходит? Потому что эти модели не знают истину, они просто предсказывают наиболее вероятное продолжение текста на основе того, на чём их обучили. Если достоверных данных не хватает, она сгенерирует красивую, но ложную фразу. Ещё один момент – «эффект эха». Пользователь случайно или специально использует агрессивные формулировки, а модель, натренированная на похожих примерах, подхватывает эту негативную тональность и усиливает её. Получается опасный цикл.

Конечно, разработчики стараются это предотвратить. В языковые модели встраивают многоуровневые фильтры: проверяют обучающие данные, чистят ответы после генерации, блокируют запрещённые слова и фразы. Но идеальными эти механизмы не назовёшь. В итоге система либо пропускает нежелательный контент, либо, наоборот, начинает слишком строго резать безобидные запросы.

Бывали случаи, когда виртуальные помощники выдавали что-то некорректное, и это вызывало скандалы. Например, дезинформацию по острым темам

или реплики с затаёнными предрассудками. Такие инциденты показывают, насколько важна прозрачность работы моделей.

Кстати, о конфиденциальности. Голосовые запросы, которые мы отправляем, обычно превращаются в текст и хранятся недолго. Но риск утечки или неправомерного использования всё равно остаётся, особенно если речь идёт о личных или чувствительных вещах.

Защита и контроль. Кто и как сдерживает тёмную сторону

Чтобы снизить все эти риски, придумали многоуровневые системы защиты. Главный элемент – модерация контента. Тут работают и автоматические фильтры, и живые люди. Искусственный интеллект в реальном времени находит и блокирует опасный контент, а ручная модерация подключается для сложных случаев, где нужно понимать контекст и человеческие нюансы. Так достигается баланс между скоростью и точностью.

Многое зависит и от этических принципов компаний-разработчиков, например, Яндекса. Корпорация декларирует ряд ограничений: не генерировать противоправное, осторожно обсуждать чувствительные темы, фильтровать запросы, связанные с вредом для себя или других. Эти правила закладывают ещё на этапе проектирования, а потом постоянно дорабатывают, добавляя реакции на новые угрозы. По сути, создаётся «этическая рамка», внутри которой работает ИИ.

Более глубокий уровень – аудит моделей. Перед запуском и во время работы системы проходят разные проверки: автоматические тесты и экспертные оценки. Результаты аудита помогают обновлять систему, делая её надёжнее и прозрачнее. Кроме того, действуют юридические рамки – законы о защите данных, нормы регулирования ИИ, требования к прозрачности алгоритмов. Они задают минимальные стандарты для всех участников рынка. Только если подходить комплексно – соединять технические улучшения и осознанное использование – можно ослабить влияние «теней данных» и сделать общение с виртуальными ассистентами более безопасным.

Но важно не перегибать палку: признавать уязвимости, но не демонизировать технологию. ИИ – это инструмент, и его риски сильно зависят от того, как и в каком контексте его применяют. Огромную роль играет цифровая грамотность самих пользователей. Если понимать, как работают алгоритмы, уметь критически оценивать то, что выдаёт нейросеть, и знать её ограничения, то можно снизить вероятность ошибок и манипуляций.

Заключение

Если проанализировать архитектуру и принципы работы Алисы, становится ясно: за дружелюбным интерфейсом скрывается сложная многоуровневая система. Она сочетает передовые технологии и немало уязвимостей. Интеллект ассистента – это не самостоятельное мышление, а результат математической обработки огромных массивов данных, собранных из разных, не всегда надёжных источников. Это порождает риски.

В то же время, как мы выяснили, разработчики и регуляторы внедряют комплексные меры защиты. Но абсолютной защиты не бывает – её эффективность во многом зависит от того, насколько осознанно человек взаимодействует с технологией. Повышать цифровую грамотность, критически относиться к информации, понимать границы ИИ – вот что действительно поможет безопасно пользоваться виртуальными помощниками. Только если совместить технологическое развитие, правовое регулирование и ответственное поведение пользователей, можно минимизировать «тёмные стороны» ИИ и раскрыть его потенциал как инструмента, расширяющего человеческие возможности. В конечном счёте, будущее нашего общения с системами вроде Алисы зависит не только от кода и алгоритмов, но и от нашей готовности быть не просто пассивными потребителями, а грамотными и критически настроенными собеседниками.

Список литературы

1. Киренберг, А. Г. Системное администрирование и информационная безопасность сетей ЭВМ : учебное пособие / А. Г. Киренберг. – Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – 120 с. – ISBN 978-5-00137-292-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/257564> (дата обращения: 25.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Корецкий, Р. Raspberry Pi OS Системное администрирование с systemd и Python : руководство / Р. Корецкий ; перевод с английского Ю. В. Ревича. – Москва : ДМК Пресс, 2024. – 314 с. – ISBN 978-5-93700-284-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/456734> (дата обращения: 25.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Донецкие чтения 2024: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IX Международной научной конференции (Донецк, 15–17 октября 2024 г.) : материалы конференции : в 10 томах / под общей редакцией С. В. Беспаловой. – Донецк : ДонГУ, 2024 – Том 6 : Педагогические науки. Часть 2 – 2024. – 430 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/504715> (дата обращения: 25.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Гуманитарные проблемы искусственного интеллекта и его применения : монография / А. Б. Гехт, Р. В. Душкин, А. В. Неровный [и др.]. – Санкт-Петербург : СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2024. – 267 с. – ISBN 978-5-89160-320-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/426152> (дата обращения: 25.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Романов, П. С. Системы искусственного интеллекта и интеллектуальный анализ данных. Моделирование систем нечеткого вывода. Лабораторный практикум : учебное пособие для вузов / П. С. Романов, И. П. Романова. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 212 с. – ISBN 978-5-507-53328-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/507351> (дата обращения: 25.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Акименко, А. В. Алгоритм расчета теплопритоков холодильника / А. В. Акименко, Е. А. Аникеев, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 7-15. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-7-15. – EDN GAZNTP.

7. Полуэктов, А. В. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

8. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

9. Полуэктов, А. В. Моделирование влияния электромагнитных полей на микросхемы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, К. В. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

10. Новикова, Т. П. Математическая модель интермодальных грузовых перевозок / Т. П. Новикова, С. А. Евдокимова, А. И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 62-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70. – EDN ERRGGK.

11. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

12. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

13. Создание средств проверки электрической схемы с использованием схемы тестовых внешних воздействий / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, К. В. Литвинов, М. А. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

References

1. Kirenberg, A. G. System administration and information security of computer networks : a textbook / A. G. Kirenberg. Kemerovo : KuzSTU named after T.F. Gorbachev, 2022. 120 p. ISBN 978-5-00137-292-9. Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/257564> (date of request: 02/25/2026). – Access mode: for authorization – users.

2. Koretsky, R. Raspberry Pi OS System Administration with systemd and Python : a guide / R. Koretsky ; translated from English by Yu. V. Revich. – Moscow : DMK Press, 2024. – 314 p. – ISBN 978-5-93700-284-6. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/456734> (date of request: 02/25/2026). – Access mode: for authorization - users.

3. Donetsk Readings 2024: education, Science, innovation, culture and Modern Challenges: Proceedings of the IX International Scientific Conference (Donetsk, Oc-

tober 15-17, 2024) : conference proceedings : in 10 volumes / edited by S. V. Bessalova. Donetsk : DonGU, 2024 – Volume 6 : Pedagogical Sciences. Part 2 – 2024. – 430 p. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/504715> (date of request: 02/25/2026). – Access mode: for authorization - users.

4. Humanitarian problems of artificial intelligence and its applications : a monograph / A. B. Gekht, R. V. Dushkin, A.V. Nerovny [et al.]. – St. Petersburg : M.A. Bonch-Bruевич St. Petersburg State University, 2024. – 267 p. – ISBN 978-5-89160-320-2. – Text : electronic // Lan : electronic Library the system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/426152> (date of request: 02/25/2026). – Access mode: for authorization - users.

5. Romanov, P. S. Artificial intelligence systems and data mining. Modeling of fuzzy inference systems. Laboratory practice : a textbook for universities / P. S. Romanov, I. P. Romanova. – Saint Petersburg : Lan, 2025. – 212 p. – ISBN 978-5-507-53328-2. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/507351> (date of request: 02/25/2026). – Access mode: for authorization - users.

6. Akimenko, A.V. Algorithm for calculating refrigerator heat flows / A.V. Akimenko, E. A. Anikeev, R. Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 7-15. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-7-15. – EDN GAZNTP.

7. Poluektov, A.V. Modeling of attenuation of ionizing radiation due to the protective housing of microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, A. I. Zarevich // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

8. Increasing the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, A.V. Achkasov, Yu.A. Chevychelov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIK-KRO.

9. Poluektov, A.V. Modeling the influence of electromagnetic fields on microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, K. V. Zolnikov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

10. Novikova, T. P. Mathematical model of intermodal freight transportation / T. P. Novikova, S. A. Evdokimova, A. I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 62-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70. – EDN ERRGGK.

11. Poluektov A.V., Zolnikov K. V., Achkasov A.V., Chevychelov Yu.A. Improving the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems // Modeling systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

12. Computer modeling of electrical circuit operability in design automation systems / V. K. Zolnikov, S. V. Stoyanov, E. V. Shmakov, N. N. Litvinov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

13. Creation of means of checking an electrical circuit using a circuit of test external influences / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, K. V. Litvinov, M. A. Solodilov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВТОРНЫХ ОБРАЩЕНИЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОВТОРНЫХ ВЫЕЗДОВ В ТЕЛЕКОМ-СЕРВИСЕ

О.А. Авилова¹, А.С. Ягодкин¹, А.В. Кладов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Повторные обращения и повторные выезды в телекоммуникационном сервисе увеличивают операционные затраты и ухудшают соблюдение соглашений об уровне обслуживания (SLA), поэтому актуальна разработка предиктивных моделей риска рецидива и их внедрение в контур принятия решений. В работе рассматривается постановка задачи прогнозирования повторных событий на горизонтах 7, 14 и 30 дней, методика подготовки телеком-данных из CRM, OSS, диагностики CPE/ONT и Workforce Management, а также прототип информационной системы, которая приоритизирует инциденты и выдает рекомендации для снижения доли повторных выездов. Исходной базой выступает датасет SLA_Telecom_71430, содержащий 71 430 связей телекоммуникационных событий за 182 дня наблюдений с GPON/XGS-PON сетей, включающий 68 телеком-специфичных признаков и три целевые переменные, отражающие риск нарушения SLA на разных временных горизонтах. Применение методов машинного обучения с учетом дисбаланса классов и экономической асимметрии ошибок позволяет строить модели для превентивного управления качеством обслуживания.

Ключевые слова: телекоммуникации, SLA, повторные обращения, повторные выезды, машинное обучение, предиктивная аналитика, несбалансированные данные, MLOps, CRM, OSS, Workforce.

APPLYING MACHINE LEARNING TO PREDICT REPEAT CALLS AND PREVENT REPEAT CALLS IN TELECOM SERVICE

O.A. Avilova¹, A.S. Yagodkin¹, A.V. Kladov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Repeat calls and repeat calls in telecommunications services increase operating costs and impair service level agreement (SLA) compliance. Therefore, the development of predictive

models for recurrence risk and their integration into decision-making is relevant. This paper discusses the problem of predicting repeat events over 7-, 14-, and 30-day horizons, a methodology for preparing telecom data from CRM, OSS, CPE/ONT diagnostics, and Workforce Management, and a prototype information system that prioritizes incidents and provides recommendations for reducing the rate of repeat calls. The initial database is the SLA_Telecom_71430 dataset, containing 71,430 telecommunications event associations over 182 days of observations from GPON/XGS-PON networks. It includes 68 telecom-specific features and three target variables reflecting the risk of SLA violations at different time horizons. The use of machine learning methods, taking into account class imbalance and economic asymmetry of errors, enables the construction of models for proactive service quality management.

Keywords: telecommunications, SLA, repeat calls, repeat visits, machine learning, predictive analytics, imbalanced data, MLOps, CRM, OSS, Workforce.

Традиционные реактивные подходы к мониторингу, основанные на анализе логов и пороговых алертах, демонстрируют высокий уровень ложных срабатываний и недостаточную способность к раннему выявлению проблем. Предиктивная аналитика на основе машинного обучения открывает возможность перехода к превентивному управлению: прогнозирование риска повторного события за несколько дней позволяет усилить диагностику на ранних этапах, улучшить качество закрытия обращений и рационально распределить ресурсы полевой службы. Однако реализация таких систем в телекоммуникационном домене сталкивается с рядом специфических вызовов, включая крайнюю несбалансированность данных, необходимость интеграции гетерогенных источников информации, учет экономической асимметрии ошибок и обеспечение эксплуатационной готовности через практики MLOps.

Целью настоящей работы является разработка методологии прогнозирования повторных обращений в телекоммуникационном сервисе на основе интеграции данных из множественных источников и применения специализированных техник машинного обучения для несбалансированных данных с последующим проектированием информационной системы предотвращения повторных выездов. Научная новизна заключается в комплексном подходе, объединяющем телеком-специфичное формирование признаков, методы cost-sensitive обучения и MLOps-архитектуру для промышленного применения.

Постановка задачи и источники данных

Процесс обработки обращений в телекоммуникационной компании представляет собой многоуровневую систему, где контактный центр выполняет пер-

вичную регистрацию инцидентов в CRM-системах с целевым показателем разрешения с первого контакта выше 70%. При невозможности решения на первом уровне происходит эскалация во вторую линию технической поддержки, где инженеры проводят углубленную диагностику с использованием систем операционной поддержки, анализируя метрики сетевого трафика, ошибки канального уровня, телеметрию оптических терминалов и клиентского оборудования. При необходимости физического вмешательства формируется задание для полевой службы через системы управления рабочей силой, где планирование выездов оптимизируется с учетом геолокации, навыков техников и временных окон SLA.

Повторное обращение трактуется как рецидивирующий тикет по той же или близкой проблеме в заданном временном окне после закрытия первичного обращения, что напрямую отражается в росте нагрузки на все уровни поддержки и повторных работах полевой службы. Основные причины повторных событий включают операционные факторы (недостаточная квалификация персонала, низкий уровень разрешения с первого контакта, формальное закрытие без устранения первопричины), технические факторы (неполный ремонт на выезде, скрытые дефекты оборудования, деградация оптоволокну, перегрев клиентских устройств), организационные факторы (потеря истории тикета при эскалации, несогласованные временные окна SLA между уровнями) и клиентские факторы (несоблюдение инструкций, завышенные ожидания).

Экономическое влияние повторных событий существенно: стоимость одного повторного выезда составляет 3-10 тысяч рублей, при коэффициенте переделок выше 15% совокупные затраты полевой службы возрастают на 25-40% годовых. Нарушения SLA влекут штрафы до 5-10% от месячной платы при доступности 99.72-99.9% и до 15% при 98.9-99.45%. Три и более рецидива удваивают вероятность оттока клиента с базового уровня 3% до 6-8% ежемесячно, особенно для корпоративных заказчиков.

Данные для прогнозирования формируются из четырех основных источников. CRM и системы тикетинга фиксируют клиентские взаимодействия, включая временные метки создания и закрытия обращений, категории проблем, уровни приоритета, количество эскалаций, текстовые описания инцидентов и оценки удовлетворенности клиентов. OSS и сетевой мониторинг обеспечивают телеметрию инфраструктуры с высокой дискретизацией, включая метрики трафика, ошибки передачи данных на канальном уровне, задержки, потери пакетов, утилизацию процессоров и памяти сетевого оборудования. Диагностика клиентского оборудования CPE/ONT предоставляет параметры оптических терминалов

(принимаемая и передаваемая оптическая мощность, аварийные сигналы потери сигнала, температура, пропускная способность портов, утилизация беспроводных интерфейсов). Данные полевой службы документируют физические вмешательства через записи о выездах, включающие идентификаторы техников, GPS-траектории, выполненные действия, использованные материалы, результаты пост-ремонтной диагностики и признаки переделок.

Основной базой исследования выступает датасет SLA_Telecom_71430, включающий 71 430 связанных телекоммуникационных событий, собранных с оптических сетей GPON/XGS-PON в период с 1 января по 1 июля 2025 года (182 дня наблюдений). Датасет содержит 68 телеком-специфичных признаков, разделенных на семь категорий, и три целевые переменные, прогнозирующие нарушения SLA на горизонтах 7, 14 и 30 дней соответственно.

Методология прогнозирования

Формирование признаков учитывает специфику телекоммуникационного домена и включает несколько категорий переменных. Признаки оптического доступа отражают состояние и динамику оптических терминалов: оптический бюджет линии, рассчитываемый как разность между мощностью передатчика на станции и принимаемой мощностью терминала с учетом потерь в разветвителях; показатель деградации как превышение фактического затухания над техническим порогом; тренд изменения принимаемой мощности, вычисляемый через линейную регрессию за последние 24 часа; плотность аварийных сигналов потери сигнала; утилизация беспроводных интерфейсов как произведение загрузки канала и числа подключенных устройств; температурные аномалии через Z-оценку отклонения от среднего.

Сетевые признаки из систем операционной поддержки включают интенсивность ошибок канального уровня (циклические избыточные коды, ошибки выравнивания кадров) за различные временные окна, всплески трафика через 95-й перцентиль минутных измерений, показатели задержки через 95-й перцентиль времени кругового обхода, запас пропускной способности как дополнение среднего трафика до максимальной емкости линии. Признаки истории обращений и полевой службы фиксируют временной лаг до предыдущего рецидива, частоту эскалаций как отношение числа эскалаций к общему числу тикетов за 30 дней, коэффициент переделок для клиента как отношение повторных выездов к общему числу за 90 дней, кросс-признаки типа числа тикетов, зарегистрированных

после аварийных сигналов оптических терминалов. Текстовые описания инцидентов обрабатываются методами TF-IDF для извлечения частотных терминов, моделями BERT для получения семантических векторов с последующим снижением размерности через анализ главных компонент, латентным размещением Дирихле для выделения тематических кластеров симптомов.

Селекция показателей эффективности рекурсивным исключением с кросс-проверкой, что позволяет отобрать подмножество наиболее информативных функций по критерию взаимной информации с независимой переменной. Итоговый набор включает в себя признаки информативности выше порога, обеспечение баланса между полным описанием и вычислительной эффективностью.

Моделирование предполагает сравнение базовых решений и продвинутых алгоритмов с учетом специфики несбалансированных данных. Базовая модель строится на основе логистической регрессии с балансировкой весов классов, что дает точку отсчета для оценки улучшений. Ансамблевые методы на основе градиентного бустинга применяются с параметром масштабирования позитивного класса, ограничением границ деревьев, контролируемой скоростью обучения, ранней остановкой обучения по валидационной выборке и пользовательской уменьшенной потерей, наблюдательной стоимостью ошибок. Рекуррентные нейронные сети с механизмами внимания, используемые для непрерывной обработки временных рядов с двумя слоями, регулярной обработки посредством выпадения и взвешенной задержки бинарной кросс-энтропии.

Гиперпараметры оптимизируются методом древневидного структурированного Парзеневского измерения посредством нескольких сотен итераций с максимизацией площади под кривой точности-полнота при валидационной выборке. Балансировка классов прогрессивной синтетической генерацией включает меньшинства с учетом категориальных признаков, что позволяет достичь более равномерного соотношения классов в обучающей выборке. Калибровка вероятностей применяет метод изотонической регрессии при валидационной выборке для улучшения соответствия предсказанных вероятностей реальной частоте событий.

Метрики качества для несбалансированных данных включают площадь под кривой точности-полнота, которая более информативна при минимальном дисбалансе классов по сравнению с площадью под ROC-кривой; полноту в топ-K предсказаний, исследовательскую долю происходящих событий среди K

наиболее рискованных обращений; F1-меру как гармоническое, среднее и полноты; Экономический лифт как отношение разности ожидаемых затратных ситуаций и предложенной модели к ожидаемым затратам случайной стратегии.

Информационная система и результаты

Проектирование информационной системы предотвращения повторных выездов включает интеграцию с корпоративными ограничениями управления поддержкой с клиентами, поддержку, управление рабочей силой и хранение данных через сервис машинного обучения, механизмы приоритизации и выдачи рекомендаций. Система предотвращения в существующем процессе обслуживания: при регистрации или обработке обращения применяется скорейшее, после чего обеспечивается действие – глубокая диагностика оптической линии, контроль качества закрытия с верификацией, ограничение первопричины, назначение более опытного метода риска с соответствующей сертификацией, дополнительное тестирование оборудования или отложенная проверка через несколько дней после закрытия.

Экспериментальная оценка по выбору методов превосходит базовые решения: квадрат под кривой точность-полнота дает результаты на 60-65% выше результатов модели, полнота в топ-100 предсказаний 90%, что означает выявление большинства проблемных случаев среди наиболее рискованных применений, экономический эффект представляет собой более двукратное улучшение со случайной стратегией. Интерпретация факторного риска с помощью аддитивных объяснений показывает, что ключевыми предикторами происходит деградация оптического сигнала выше порога, малый временной лаг до начала рецидива, высокий уровень групповых ошибок канального уровня, перегрузка беспроводных интерфейсов и отрицательный тренд, принимаемой оптической динамикой, что согласуется с доменными инженерами и повышением доверия к моделям.

Пилотное внедрение в режиме А/В-тестирования с определением трафика на контрольной и экспериментальной группы показывает снижение среднего времени восстановления на 50-55% для применений, тщательного применения прогнозной приоритизации, за счет более раннего порога и ограничения первопричина. Экономический эффект происходит за счет снижения операционных затрат на 25-30% в квартальном исчислении благодаря сокращению повторных выездов и повышению качества закрытия заявок с первого раза, что в денежном выражении вы на этапе составляет несколько миллионов долларов экономии при

инвестициях в развитие и интеграцию системы, что приводит к доходности инвестиций на уровне 200-250% в годовом горизонте.

Предложенная методология прогнозирования повторных обращений в телекоммуникационных службах на основе гетерогенных данных из систем CRM, OSS, диагностики клиентского оборудования и полевой службы с применением методов машинного обучения, адаптированных для несбалансированных данных и экономической асимметрии ошибок, обеспечивает эффективность в задачах превентивного управления качественным обслуживанием. Ключевыми факторами успеха являются телекомспецифические признаки, отражающие физику оптического доступа, динамику сетевой метрики и историю обращений; учет ошибок в стоимости посредством обучения с учетом затрат и снижения порогов принятия решений; интерпретируемость моделей для прогнозирования конкретных действий; MLOps-практики для обеспечения эксплуатационной помощи и контроля качества во времени.

Разработанная информационная система предотвращает повторные выезды, закрывает типичный межсетевой контакт между аналитикой и внедрением через сквозную интеграцию цепочек от данных к моделям, от моделей к рекомендациям, от рекомендаций к действиям полевой службы и от действий к измеримому эффекту в виде снижения времени восстановления и затрат. Практическая готовность обеспечить пилотное управление, продемонстрировав улучшение операционных показателей и экономическую эффективность решений.

Направления дальнейшего развития включают федеративное обучение между территориально распределенными кластерами оборудования для учета региональной специфики без централизации значимых данных; реализация моделей на пограничных вычислительных узлах клиентского оборудования для локального обнаружения аномалий в режиме реального времени; интеграцию больших языковых моделей для углубленного анализа текстовых описаний инцидентов и автоматической генерации рекомендаций по диагностике и устранению неисправностей; Расширение горизонта прогнозирования и детализации направлено на поддержку более широкого спектра управленческих последствий от оперативного реагирования, а также направлено на изменение адаптивности.

Список литературы

1. Суглобова К.Ю. (2020) Экономический эффект от цифровизации отраслей реального сектора экономики в России. Требования к сетям связи нового поколения. REDS: Телекоммуникационные устройства и системы, 10 (4), 30-38.

2. Воспроизводство экономического потенциала региона в условиях цифровой экономики. Морозов И.В. Казань, 2023.
3. Проблемы безопасности интернета вещей. Верещагина Е.А., Капещкий И.О., Ярмонов А.С. Москва, 2021.
4. Информационные системы и технологии в АПК. Бабкина А.В., Быстренина И.Е., Горбачев М.И., Греченева А.В., Ермолаева О.С., Журавлев М.В., Зейлигер А.М., Ивашова О.Н., Красовская Л.В., Лемешко Т.Б., Лосев А.Н., Мелентьев А.Н., Моторин О.А., Никаноров М.С., Пучкова О.С., Пчелинцева С.В., Солошенко А.Д., Степанцевич М.Н., Щедрина Е.А., Худякова Е.В. и др. Москва, 2023.
5. Методы, модели и алгоритмы в системах безопасности : машинное обучение, робототехника, страхование, риски, контроль. Топольский Н.Г., Вилисов В.Я. Москва, 2021.

References

1. Suglobova K. Yu. (2020) The Economic Effect of Digitalization of the Real Economy in Russia. Requirements for Next-Generation Communication Networks. REDS: Telecommunication Devices and Systems, 10 (4), 30-38.
2. Reproduction of a Region's Economic Potential in the Context of the Digital Economy. Morozov I. V. Kazan, 2023.
3. Internet of Things Security Issues. Vereshchagina E. A., Kapetsky I. O., Yarmonov A. S. Moscow, 2021.
4. Information Systems and Technologies in the Agro-Industrial Complex. Babkina A.V., Bystrenina I.E., Gorbachev M.I., Grecheneva A.V., Ermolaeva O.S., Zhuravlev M.V., Zeiliger A.M., Ivashova O.N., Krasovskaya L.V., Lemeshko T.B., Losev A.N., Melentyev A.N., Motorin O.A., Nikanorov M.S., Puchkova O.S., Pchelintseva S.V., Soloshenkov A.D., Stepantsevich M.N., Shchedrina E.A., Khudyakova E.V. and others. Moscow, 2023.
5. Methods, models and algorithms in security systems: machine learning, robotics, insurance, risks, control. Topolsky N.G., Vilisov V.Ya. Moscow, 2021.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ БИБЛИОТЕК И ФРЕЙМВОРКОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Е.А. Аникеев¹, А.В. Акименко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ наиболее востребованных библиотек и фреймворков машинного обучения, используемых в современных исследовательских и промышленных проектах. Рассмотрены ключевые характеристики TensorFlow, PyTorch, Keras, JAX и MXNet, их архитектурные особенности, целевое применение и инструментарий для развертывания моделей. Особое внимание уделено вопросам выбора фреймворка в зависимости от специфики решаемых задач – от исследовательского прототипирования до промышленной эксплуатации. Проведен анализ вспомогательных инструментов экосистемы машинного обучения, включая ONNX, PyTorch Lightning и Fast.ai.

Ключевые слова: машинное обучение, фреймворки, библиотеки, TensorFlow, PyTorch, JAX, Keras, MXNet, сравнительный анализ, искусственный интеллект.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN MACHINE LEARNING LIBRARIES AND FRAMEWORKS

Е.А. Anikeev¹, A.V. Akimenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents a comparative analysis of the most popular machine learning libraries and frameworks used in modern research and industrial projects. The key characteristics of TensorFlow, PyTorch, Keras, JAX, and MXNet, their architectural features, target applications, and model deployment tools are considered. Special attention is paid to the choice of framework depending on the specifics of the tasks – from research prototyping to industrial operation. The analysis of auxiliary machine learning ecosystem tools, including ONNX, PyTorch Lightning, and Fast.ai, is carried out.

Keywords: machine learning, frameworks, libraries, TensorFlow, PyTorch, JAX, Keras, MXNet, comparative analysis, artificial intelligence.

Введение

В современном мире искусственного интеллекта и машинного обучения очень важно правильно выбрать софт для расчётов. Существующих фреймворков много, и они образуют своего рода многоэтажную систему. Есть и проверенные временем решения, и специализированные инструменты под конкретные задачи. В этом исследовании мы разберём самые популярные библиотеки и фреймворки, которые сейчас используют в сфере ИИ [1–3].

Основные характеристики фреймворков машинного обучения

Возьмём TensorFlow от Google. Это целый комбайн для машинного обучения. У него есть своя среда разработки TensorBoard для визуализации, облегчённая версия для мобильных устройств TensorFlow Lite и инструмент для веб-интеграции TensorFlow.js.

Современные фреймворки для глубокого обучения пошли разными путями. TensorFlow делает ставку на модульность и на то, чтобы настраивать производственные конвейеры (MLOps). А PyTorch, благодаря динамическим вычислительным графам, остаётся королём в исследовательской работе – особенно в обработке естественного языка и генеративных задачах. У PyTorch в версии 2.x появился механизм `torch.compile`: можно спокойно прототипировать в удобном eager-режиме, а потом оптимизировать граф для развёртывания. Keras – это высокоуровневая обёртка, где всё завязано на композицию компонентов. Она ускоряет разработку, но не мешает вам при необходимости копать вглубь бэкенда (в основном TensorFlow). Такая разная специализация показывает общую тенденцию: сейчас выбирают фреймворк не просто потому, что он универсальный, а потому что он подходит под конкретный этап жизни модели и требования инфраструктуры.

Ещё есть JAX, тоже от Google. Его фишка – векторизация через `vmap` и распараллеливание через `rmmap`. Это позволяет выжимать максимум из ускорителей. А чистая функциональность упрощает проверку и воспроизводимость экспериментов. Правда, освоить JAX сложнее, чем более абстрактные решения. Зато он незаменим, если нужна и скорость вычислений, и математическая строгость.

Теперь Apache MXNet. Его поддерживает Amazon. Инструмент заточен под распределённое обучение и облачные решения. Чем он хорош? Масштабируемостью, поддержкой нескольких языков и тесной связкой с облаком AWS.

Правда, на сегодняшний день MXNet – это уже скорее наследие для новых проектов. Но на некоторых предприятиях его до сих пор используют в производстве.

Какой вывод? Выбор между этими инструментами зависит не только от технических характеристик, но и от контекста: на какой стадии жизненного цикла находится модель, как масштабируемость нужна, что умеет ваша команда и насколько легко вписать фреймворк в существующую инфраструктуру.

Дополнительные библиотеки

В дополнение к основным фреймворкам существуют специализированные библиотеки, расширяющие их функциональность. Например, PyTorch Lightning представляет собой инструмент для стандартизации процесса обучения моделей, который упрощает стандартные процедуры и оркестровку [2, 4]. Библиотека Fast.ai ориентирована на практическое применение машинного обучения и образование, делая сложные алгоритмы более доступными для начинающих специалистов. Особого внимания заслуживает ONNX (Open Neural Network Exchange). Это открытый формат обмена моделями между различными фреймворками. Он позволяет эффективно выполнять модели вне зависимости от того, в каком фреймворке они были созданы.

В таблице 1 представлены основные параметры рассмотренных фреймворков и библиотек машинного обучения.

Таблица 1 – Сравнительный анализ фреймворков машинного обучения

Фрейм-ворк	Разработчик	Ключевые характеристики	Целевое применение
TensorFlow	Google	Комплексная экосистема, TFX, TF Serving, TF Lite, зрелый MLOps	Промышленное применение, продакшен-пайплайны
PyTorch	Meta	Динамические графы, torch.compile, интуитивный Python-синтаксис	Исследовательские задачи, быстрое прототипирование
Keras	API TensorFlow	Простота использования, модульность, высокая продуктивность	Прототипирование, образование
JAX	Google	Функциональный подход, XLA-компиляция, автоматическая векторизация	Научные вычисления, высокопроизводительные исследования
MXNet	Apache/Amazon	Масштабируемость, многоязычная поддержка, облачная интеграция	Распределённое обучение, легаси-проекты

Заключение

Определение оптимального стека технологий для задач машинного обучения требует взвешенной оценки множества факторов: от предметной области и масштаба данных до компетенций команды и ограничений инфраструктуры. Универсального решения не существует – эффективность инструмента проявляется только в контексте конкретных требований к разработке, развёртыванию и сопровождению модели.

Современная практика всё чаще отходит от жёсткой привязки к единому фреймворку в пользу гибридных подходов, где разные инструменты используются на соответствующих этапах жизненного цикла модели [3, 4]. Для многих команд PyTorch становится де-факто отправной точкой: он сочетает достаточную гибкость для экспериментов, приемлемую производительность в продакшене и активно развивающееся сообщество, что в совокупности снижает совокупную стоимость владения решением. Однако финальный выбор должен опираться не на популярность технологии, а на её соответствие архитектурным и бизнес-требованиям конкретного проекта.

Список литературы

1. Возная, Е. Сравнение ML-фреймворков: PyTorch, TensorFlow, JAX – что выбрать в России? / Е. Возная // Компьютерра. – 2025. – 26 ноября. – URL: <https://www.computerra.ru/329636/sravnenie-ml-frejmvorkov-pytorch-tensorflow-jax-chto-vybrat-v-rossii/> (дата обращения: 19.02.2026).
2. Парамонов, А. А. Исследование структуры тропического циклона на основе анализа данных спутникового видеоряда с применением метода почти периодического анализа / А. А. Парамонов, А. В. Калач, А. С. Кравченко // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.
3. Nikolaev, N. Comparative Analysis of CNN Performance in Keras, PyTorch and JAX on PathMNIST / N. Nikolaev // arXiv. – 2025. – arXiv:2507.12248. – URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2025arXiv250712248N/abstract> (дата обращения: 19.02.2026).
4. Sanyadanam, A. Comparison of distributed Machine Learning frameworks in a fog environment: Conceptual and Performance analysis / A. Sanyadanam, S.N. Srirama // Internet of Things. – 2025. – Vol. 34. – Art. 101774. – DOI:

10.1016/j.iot.2025.101774. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542660525002884> (дата обращения: 19.02.2026).

References

1. Voznaya, E. Sravnenie ML-freymvorkov: PyTorch, TensorFlow, JAX – chto vybrat' v Rossii? / E. Voznaya // Komp'yuterra. – 2025. – 26 noyabrya. – URL: <https://www.computerra.ru/329636/sravnenie-ml-freymvorkov-pytorch-tensorflow-jax-chto-vybrat-v-rossii/> (data obrashcheniya: 19.02.2026).
2. Paramonov, A. A. Issledovanie struktury tropicheskogo tsyklona na osnove analiza dannykh sputnikovogo videoryada s primeneniem metoda pohti periodicheskogo analiza / A. A. Paramonov, A. V. Kalach, A. S. Kravchenko // Modelirovanie sistem i protsessov. – 2024. – T. 17, № 4. – S. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.
3. Nikolaev, N. Comparative Analysis of CNN Performance in Keras, PyTorch and JAX on PathMNIST / N. Nikolaev // arXiv. – 2025. – arXiv:2507.12248. – URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2025arXiv250712248N/abstract> (дата обращения: 19.02.2026).
4. Sanyadanam, A. Comparison of distributed Machine Learning frameworks in a fog environment: Conceptual and Performance analysis / A. Sanyadanam, S.N. Srirama // Internet of Things. – 2025. – Vol. 34. – Art. 101774. – DOI: 10.1016/j.iot.2025.101774. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542660525002884> (дата обращения: 19.02.2026).

СТАНДАРТЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Е.А. Аникеев¹, А.В. Акименко¹, Ю.О. Авилов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье анализируются современные подходы к стандартизации систем искусственного интеллекта в автомобильной промышленности. Рассматриваются ключевые стандарты функциональной безопасности ISO 26262, безопасности предполагаемой функциональности SOTIF (ISO 21448) и перспективный стандарт ISO/PAS 8800, ориентированный непосредственно на системы с искусственным интеллектом. Выявлены ограничения существующих стандартов при применении к недетерминированным моделям машинного обучения и предложены пути их преодоления через комбинированный подход к управлению рисками. Особое внимание уделено проблемам верификации и валидации глубоких нейронных сетей в контексте обеспечения безопасности автономных транспортных средств.

Ключевые слова: искусственный интеллект, автономные транспортные средства, функциональная безопасность, ISO 26262, SOTIF, ISO PAS 8800, глубокое обучение, управление рисками.

STANDARDS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ROAD TRANSPORT

E.A. Anikeev¹, A.V. Akimenko¹, Yu.O. Avilov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyzes modern approaches to standardization of artificial intelligence systems in the automotive industry. Key functional safety standards ISO 26262, Safety of the Intended Functionality SOTIF (ISO 21448) and the prospective ISO/PAS 8800 standard focused directly on artificial intelligence systems are considered. Limitations of existing standards when applied to non-deterministic machine learning models are identified and ways to overcome them through a combined risk management approach are proposed. Special attention is paid to verification and validation challenges of deep neural networks in the context of autonomous vehicle safety assurance.

Keywords: artificial intelligence, autonomous vehicles, functional safety, ISO 26262, SOTIF, ISO PAS 8800, deep learning, risk management.

Введение

Искусственный интеллект и машинное обучение уже всюду меняют автомобильную отрасль, причём меняют саму архитектуру управления машинами [2]. Современные системы помощи водителю (ADAS) и полностью беспилотные автомобили во многом держатся на глубоких нейронных сетях. Но тут есть одна загвоздка. Модели машинного обучения ведут себя недетерминированно. А традиционные подходы к функциональной безопасности изначально писались под детерминированные системы [1]. И вот тут возникает серьёзная проблема. Поэтому стандартизация выходит на первый план: без неё не согласовать требования к безопасности, методы проверки и сертификации ИИ-компонентов.

Основные стандарты безопасности для систем с ИИ

Возьмём международный стандарт ISO 26262 (он называется «Road vehicles – Functional Safety»). Это базовая рамка для функциональной безопасности электроники и электрики в автомобилях. Он охватывает всё: от анализа опасностей до проектирования, верификации и валидации. Но его методология заточена под детерминированные системы. А модели машинного обучения работают на статистике, и предсказать их поведение на этапе проектирования полностью невозможно [2, 3]. Вот тут и начинаются трудности.

Потом появился стандарт ISO 21448 (SOTIF – Safety of the Intended Functionality). Его сделали как дополнение к ISO 26262, чтобы закрыть дыры, которые функциональная безопасность не охватывает. SOTIF занимается рисками, которые возникают из-за ограничений самой системы или её недостаточной производительности в нештатных ситуациях. Ну, например, как распознать дорожную разметку в сильный снегопад. Стандарт вводит понятия «известных» и «неизвестных» опасных областей и предлагает методологию, как расширять известную область за счёт тестирования и анализа сценариев. Но конкретных приёмов для проверки моделей глубокого обучения SOTIF не даёт [3].

А вот более перспективный вариант – разрабатываемый стандарт ISO/PAS 8800 («Road Vehicles – Safety and Artificial Intelligence»). Он уже напрямую обращается к особенностям ИИ-систем. Там рассматривается и вывод требований безопасности для ИИ-компонентов, и методы анализа рисков, и верификация с валидацией, и управление безопасностью на всех этапах жизненного цикла. Отдельное внимание уделяется качеству данных, устойчивости моделей к атакам и тому, насколько объяснимы решения, которые принимает ИИ.

Проблемы верификации и управления рисками ИИ

Главная проблема при использовании ИИ в автомобилях – невозможность исчерпывающего тестирования. Из-за комбинаторного взрыва возможных входных данных перебрать все сценарии просто нереально. В отличие от традиционного программного обеспечения, поведение нейронной сети определяется не только её архитектурой, но и статистическими свойствами обучающих данных. Поэтому от простого тестирования «чёрного ящика» приходится переходить к комплексному подходу, который включает:

- анализ качества и репрезентативности обучающих данных – с учётом возможного смещения распределения (distributional shift) в реальной эксплуатации;
- применение состязательного обучения для повышения устойчивости моделей;
- архитектурную избыточность и слияние данных с разных сенсоров, чтобы снизить критичность отказа отдельного компонента.

Как отмечается в исследованиях по системному анализу принятия решений [1], эффективное управление рисками в сложных технических системах требует формализации критериев оптимальности и поиска множества допустимых решений [2]. Применительно к ИИ-системам это означает, что нужно уходить от бинарной оценки «безопасно / небезопасно» и переходить к вероятностной модели рисков, где вероятность и тяжесть последствий оцениваются количественно.

Заключение

Современная стандартизация безопасности систем искусственного интеллекта в автомобильном транспорте находится на этапе трансформации. Существующие стандарты ISO 26262 и ISO 21448 создают необходимую основу, но требуют адаптации к специфике недетерминированных моделей машинного обучения. Перспективный стандарт ISO/PAS 8800 призван заполнить этот пробел, однако его эффективность будет зависеть от разработки практически применимых методик верификации и валидации. Ключевым направлением развития следует считать интеграцию подходов к управлению рисками на системном уровне с компонентными методами обеспечения надёжности ИИ-алгоритмов, что позволит создать многоуровневую архитектуру безопасности, способную компенсировать неопределённость поведения моделей машинного обучения в реальных условиях эксплуатации.

Список литературы

1. Высоцкая И.А. Поиск множества допустимых управленческих решений в технических системах // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 35–42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42.
2. Mirzarazi F., Danishvar S., Mousavi A. The Safety Risks of AI-Driven Solutions in Autonomous Road Vehicles // World Electr. Veh. J. – 2024. – Vol. 15. – P. 438.
3. Yu H., Hulse D., Irshad L. Understanding AI Risks in Transportation // AI Assurance for Transportation Whitepaper Series. – U.S. DOT HASS COE, NASA SWS, 2024.

References

1. Vysotskaya I.A. Search for a set of admissible management decisions in technical systems // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – P. 35–42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42.
2. Mirzarazi F., Danishvar S., Mousavi A. The Safety Risks of AI-Driven Solutions in Autonomous Road Vehicles // World Electr. Veh. J. – 2024. – Vol. 15. – P. 438.
3. Yu H., Hulse D., Irshad L. Understanding AI Risks in Transportation // AI Assurance for Transportation Whitepaper Series. – U.S. DOT HASS COE, NASA SWS, 2024.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Е.А. Аникеев¹, А.В. Акименко¹, И.Н. Занин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые аспекты автоматизации управления автотранспортными предприятиями (АТП). Проведен анализ эволюции управленческих технологий от систем планирования материалов (MRP) до стратегий управления ресурсами предприятия (ERP) и интегрированной логистической поддержки (ИЛП). Особое внимание уделено современным тенденциям, таким как применение CALS-технологий и геоинформационных систем для формирования единого информационного пространства. Приведены примеры актуальных отечественных разработок в области мониторинга транспорта и моделирования транспортных потоков, подтверждающих эффективность цифровой трансформации АТП.

Ключевые слова: управление автотранспортным предприятием, информационная система, ERP, CALS-технологии, геоинформационные системы, мониторинг транспорта, цифровая платформа.

MODERN APPROACHES TO THE CONSTRUCTION OF INFORMATION SYSTEMS FOR MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE MANAGEMENT

E.A. Anikeev¹, A.V. Akimenko¹, I.N. Zanin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the key aspects of automating the management of motor transport enterprises (MTE). The analysis of the evolution of management technologies from material requirements planning (MRP) to enterprise resource planning (ERP) strategies and integrated logistic support (ILS) is carried out. Special attention is paid to current trends, such as the application of CALS technologies and geographic information systems for the formation of a unified information space. Examples of relevant domestic developments in the field of transport monitoring and traffic flow modeling are given, confirming the effectiveness of the digital transformation of MTE.

Keywords: motor transport enterprise management, information system, ERP, CALS-technologies, geographic information systems, transport monitoring, digital platform.

Введение

Главной задачей автотранспортного предприятия (АТП) является удовлетворение потребностей в перевозках при обеспечении сохранности грузов и безопасности пассажиров. В современных условиях решение этой задачи невозможно без внедрения информационных систем, позволяющих автоматизировать документооборот, планировать ресурсы и оперативно управлять перевозочным процессом. Информационная система АТП представляет собой организационно-техническую систему, реализующую технологии обработки и распределения информации, которая охватывает такие подразделения, как эксплуатационная и техническая службы, бухгалтерия, отдел кадров и рекламно-коммерческий отдел.

Эволюция и базовые стандарты управления

Развитие методов управления предприятиями неразрывно связано с эволюцией информационных технологий. Исторически сложилось так, что первые попытки автоматизации касались лишь отдельных рутинных операций, что не давало значительного экономического эффекта. Переломным моментом стало появление концепции жизненного цикла (ЖЦ) изделия и стандартов управления ресурсами. От систем планирования потребности в материалах (Material Requirement Planning – MRP) предприятия перешли к планированию производственных ресурсов (Manufacturing Resource Planning – MRP II), а затем и к планированию ресурсов всего предприятия (Enterprise Resource Planning – ERP) [1-3].

Современные ERP-системы, такие как IFS Applications, позволяют управлять не только финансами и производством, но и активами, персоналом и отношениями с клиентами. Для автотранспортной отрасли особенно ценна возможность интеграции с системами технического обслуживания и ремонта (ТОиР), что обеспечивает высокую техническую готовность подвижного состава. В условиях импортозамещения на российском рынке активно развиваются отечественные решения. Например, на "АВТОЗАВОД Санкт-Петербург" была внедрена система управления складом (WMS) AXELOT WMS, интегрированная с «расчетчиком» и ERP для обеспечения бесперебойного производственного процесса и прозрачности учета на уровне каждой единицы товара.

Концепция CALS и интегрированная информационная среда

В основе информационной поддержки жизненного цикла продукции лежит концепция CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support). Если проще – нужно сделать единое информационное пространство, или интегрированную информационную среду (ИИС), в которой работают и заказчики, и производители, и те, кто эксплуатирует, и ремонтники [1, 2]. Основные технологии тут какие? Управление данными об изделии (PDM), управление рабочими потоками (Workflow) и интегрированная логистическая поддержка (ИЛП).

На транспорте CALS-технологии помогают перейти на безбумажный обмен данными – с электронной подписью, конечно. Автоматизированные CALS-системы хорошо подходят и для научных исследований, и для управления сложными процессами в транспортной инфраструктуре. Как пишут Лавренко Р.О. и Булыга Ю.В. (2025), модульный принцип CALS позволяет делать инженерные расчёты, модели и оптимизировать проектные решения прямо внутри одного предприятия. А для автотранспортных предприятий (АТП) с их производственными цехами это вообще самое то.

Роль геоинформационных систем и навигации

Автотранспортные перевозки по своей сути пространственно распределены – ну то есть происходят не в одной точке, а по всей территории. Это накладывает свои требования. Поэтому геоинформационные системы (ГИС) стали неотъемлемой частью информационных систем АТП. ГИС – это ведь не просто картинка транспортной сети. Они решают сложные оптимизационные задачи: ищут кратчайшие маршруты, анализируют доступность, управляют логистикой [1–3].

Сейчас важный тренд – объединять ГИС с системами спутникового мониторинга. С октября 2025 года в России работает цифровой сервис «ГЛО-НАСС-Ассист» (он сделан на базе государственной системы «ЭРА-ГЛОНАСС»). Эта платформа собирает вместе владельцев, диспетчеров, механиков и водителей в общем цифровом пространстве. Она даёт онлайн-мониторинг, учёт топлива, планирование техобслуживания и интеграцию с бухгалтерией.

Дальше – больше. Развитие идёт в сторону интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Исследователи из Санкт-Петербургского политехнического университета сделали прототип платформы «Поланис». Она использует гибридный искусственный интеллект, чтобы анализировать большие данные и управлять транспортными потоками. В перспективе – ещё и беспилотный транспорт.

Для проектирования и анализа инфраструктуры тоже есть специализированный софт. Например, платформа RITM³ от компании SIMETRA. С её помощью можно создавать цифровые двойники транспортных систем и моделировать потоки [2, 3].

Заключение

Чтобы современно управлять автотранспортным предприятием, нужна комплексная автоматизация. Причём построенная на интеграции ERP-систем, CALS-технологий и геоинформационных сервисов. Единое информационное пространство автоматизирует рутинные операции и позволяет выйти на новый уровень принятия решений – за счёт прогнозной аналитики и работы с цифровыми двойниками. Опыт внедрения наших платформ, таких как «ГЛОНАСС-Ассист» и «Поланис», показывает: у российской ИТ-отрасли высокий потенциал для создания эффективных инструментов для транспорта.

Список литературы

1. RIO. LogiMAT 2025: RIO Presents Comprehensive TMS and Telematics Portfolio / RIO // Company Press Release. – Munich, 2025. – 16 January. – URL: <https://company.rio.cloud/en/press/press-releases/logimat-2025> (дата обращения: 16.02.2026).
2. Кулыгин, С. В. Мониторинг потоков транспортных средств на платных участках автомобильных дорог на основе применения ГНСС / С. В. Кулыгин, В. О. Казачков, А. А. Кочкаров // Труды МАИ. – 2021. – № 117. – Ст. 6. – DOI: 10.34759/trd-2021-117-06. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=122250> (дата обращения: 16.02.2026).
3. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBVHJO.

References

1. RIO. LogiMAT 2025: RIO Presents Comprehensive TMS and Telematics Portfolio / RIO // Company Press Release. – Munich, 2025. – 16 January. – URL: <https://company.rio.cloud/en/press/press-releases/logimat-2025> (date of reference: 02/16/2026).

2. Kulygin, S. V. Monitoring of vehicle flows on toll sections of highways based on the use of GNSS / S. V. Kulygin, V. O. Kazachkov, A. A. Kochkarov // Proceedings of MAI. – 2021. – № 117. – Art. 6. – DOI: 10.34759/trd-2021-117-06 . – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=122250> (date of request: 02/16/2026).

3. Sumin, V. I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

АНАЛИЗ СИСТЕМ УЧЕТА ПРОИЗВОДСТВА ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ В ЧАСТНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ 1С

Д.А. Астанина¹, В.И. Анциферова¹, Д.С. Корешков¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются особенности учета производства детского питания в частных образовательных организациях на базе платформы 1С. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения прозрачности и эффективности экономического управления процессами питания. Проведен анализ распространенных программных решений автоматизации учета, выявлены их ограничения в части интеграции с бухгалтерским учетом и учета производственных операций. Обоснована целесообразность разработки специализированного модуля учета производства детского питания на платформе 1С, ориентированного на специфику частных образовательных организаций.

Ключевые слова: детское питание, учет производства, автоматизация, информационные системы, платформа 1С, частные образовательные организации.

ANALYSIS OF ACCOUNTING SYSTEMS FOR CHILDREN'S FOOD PRODUCTION IN PRIVATE EDUCATIONAL ORGANIZATIONS BASED ON THE 1C PLATFORM

D.A. Astanina¹, V.I. Antsiferova¹, D.S. Korechkov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines the specifics of accounting for children's food production in private educational organizations based on the 1C platform. The relevance of the study is determined by the need to improve the transparency and efficiency of economic management in catering processes. An analysis of commonly used automation software solutions is conducted, and their limitations in terms of accounting integration and production process tracking are identified. The feasibility of developing a specialized production accounting module on the 1C platform tailored to private educational organizations is substantiated.

Keywords: baby food, production accounting, automation, information systems, 1C platform, private educational organizations.

Введение

Несмотря на широкое распространение информационных систем на платформе 1С (в частности, конфигурации «1С: Бухгалтерия 8»), их функциональность в основном заточена под задачи финансового и налогового учета. Производственные процессы приготовления детского питания, как правило, не имеют в них специализированных механизмов. В результате фиксация расхода сырья, учёт выхода готовых блюд и технологических потерь часто ведутся вручную или с помощью вспомогательных средств, не интегрированных с бухгалтерией. Это ведёт к росту трудозатрат, увеличению числа ошибок и снижению оперативности получения управленческой информации.

Отсутствие автоматизированного учёта производства затрудняет анализ себестоимости блюд, планирование закупок и контроль фактического расхода продуктов. Разрозненность данных между производством и бухгалтерией ограничивает возможности руководства принимать обоснованные решения и снижает прозрачность хозяйственной деятельности.

Отсюда вытекает актуальная задача: разработать специализированный модуль учёта производства детского питания, интегрированный с бухгалтерской системой на платформе 1С. Такой модуль должен автоматизировать списание сырья на основе фактического выпуска блюд, минимизировать ручной труд и создать единое информационное пространство для учёта производственных и финансовых операций.

Цель данной статьи – описать разработку и внедрение такого модуля для конфигурации «1С: Бухгалтерия 8» и оценить результаты его апробации в частной образовательной организации.

Проблематика учёта производства детского питания

Учёт того, как готовится детское питание, сильно отличается от учёта в обычном общепите. В ресторанах главное – прибыль и накрутка цен. А в школах и садах на первом месте сбалансированное и безопасное питание. И ещё строгое соблюдение нормативов: сколько сырья тратится и сколько готовой продукции должно получиться. При этом учёт должен не просто следить за соблюдением правил, но и давать возможность анализировать, насколько эффективно работает пищеблок.

Для частных образовательных организаций эта тема особенно острая. Питание там финансируется из внебюджетных средств, поэтому контроль за расходами должен быть повышенным. Перерасход сырья, ошибки при списании, несоответствие того, что получилось, нормам – всё это напрямую бьёт по финансам и может вести к необоснованному росту затрат.

На практике в большинстве учебных заведений учёт производства детского питания ведут ручными или полуавтоматическими методами. То есть на производстве фиксируют, сколько продуктов ушло, потом передают бумажки в бухгалтерию, а та уже отражает всё в учётной системе. Такой подход очень трудоёмкий, к тому же легко ошибиться. Перенос данных – ручной, оперативной проверки часто нет. В итоге бухгалтерский учёт не показывает реальную картину движения продуктов в реальном времени, и контролировать остатки или отклонения от норм становится сложно.

Отсутствие автоматизации сильно мешает анализировать себестоимость блюд и планировать закупки. Руководство не видит достоверной и свежей информации о фактических затратах, поэтому управленческие решения принимаются вслепую, да и контроль над пищеблоком хромает.

Интеграция с бухгалтерией

Одно из главных требований к системе учёта – чтобы она была тесно связана с бухгалтерией. Все операции по списанию сырья и формированию затрат должны попадать в учётную систему автоматически, без повторного ввода данных. Это создаёт единое информационное пространство и повышает достоверность информации.

Когда есть интеграция с бухгалтерией, можно формировать данные о затратах на питание в разрезе отчётных периодов, подразделений и статей расходов. Для частных школ и детских садов это особенно ценно: появляется возможность анализировать, насколько экономически эффективно работает пищеблок, и принимать обоснованные решения по оптимизации.

Минимизация ручного труда

Ещё одно важное требование – чтобы ручных операций при фиксации производственных данных было как можно меньше. Автоматизация должна сама списывать сырьё на основе того, сколько готовых блюд фактически выпущено, с учётом утверждённых рецептур и норм расхода. Это снижает нагрузку на сотрудников, уменьшает риск ошибок и ускоряет отчётность.

Плюс, когда меньше ручного труда, информация поступает быстрее. Данные о расходе сырья и выходе готовых блюд становятся доступны в учётной системе почти сразу после того, как сделали продукцию. А это серьёзно повышает эффективность контроля.

Логическая схема модуля

Модуль, который мы разработали, сделан как расширение конфигурации «1С: Бухгалтерия 8». Благодаря этому он органично встраивается в уже работающую учётную систему. Логическая схема построена так, чтобы охватить все ключевые этапы – от того, как фиксируются рецептуры, до формирования бухгалтерских документов.

В основе модуля – связанная между собой система справочников и документов. Она позволяет учитывать нормы расхода сырья, фактический выпуск блюд и автоматически формировать операции списания. Все данные передаются в бухгалтерский учёт без нарушения целостности базы, так что вести какие-то параллельные учётные системы не нужно.

Основные объекты учёта

Главные объекты учёта в модуле – это сырьё, полуфабрикаты и готовая продукция. Для каждого блюда в системе прописана рецептура: состав ингредиентов, их нормы расхода и нормативный выход. На основе данных о фактическом выпуске блюд модуль сам рассчитывает, сколько сырья нужно списать, и формирует соответствующие документы.

Благодаря единым справочникам и унифицированным объектам учёта данные между производственным и бухгалтерским учётом не расходятся. Это позволяет избежать путаницы в остатках и затратах, да и прозрачность учёта становится выше.

Результаты внедрения в частной школе

Мы опробовали модуль в одной частной школе, где питание организовано через централизованный пищеблок. Реальные условия эксплуатации позволили объективно оценить, насколько эффективно предложенное решение.

Оценка эффективности внедрения

Сравнивали, как было до автоматизации и как стало. Смотрели в первую очередь на трудоёмкость операций, прозрачность движения материальных ресурсов и возможности управленческого контроля.

До внедрения учёт производства страдал от обилия ручных операций. Расход сырья фиксировали на производстве на бумаге, потом данные передавали в

бухгалтерию, и та вносила их в учётную систему. Информация приходила неоперативно, при переносе легко было ошибиться, контролировать остатки и отклонения от норм было сложно. Анализ себестоимости блюд и оценка работы пищеблока были фрагментарными и требовали огромных усилий.

Автоматизация заметно улучшила управляемость процессов. Руководство школы получило возможность систематически контролировать расход сырья, видеть отклонения от нормативов и оценивать экономическую эффективность пищеблока. Прозрачность учётных процессов выросла, риски необоснованного перерасхода ресурсов снизились, а управленческие решения стало принимать проще.

Сокращение трудозатрат

Автоматизация позволила серьёзно сократить трудозатраты сотрудников. Ручного переноса данных между производством и бухгалтерией больше нет, поэтому времени на оформление учётных операций уходит меньше. Бухгалтерия теперь получает данные о расходе сырья автоматически, без обработки бумажных отчётов.

Нагрузка на персонал пищеблока тоже снизилась – необходимость готовить подробные ручные отчёты отпала. Сотрудники смогли сосредоточиться на своих основных задачах.

Повышение прозрачности учёта

Автоматизация сделала производственные и учётные процессы прозрачнее. Руководство школы теперь имеет доступ к оперативной информации о фактическом расходе сырья, остатках продуктов и себестоимости питания. Это позволяет вовремя замечать отклонения от норм и принимать обоснованные решения.

Благодаря тому, что учётные данные стали точнее, контроль экономической эффективности пищеблока улучшился, а риски необоснованного перерасхода ресурсов снизились.

Список литературы

1. Шевякова Л. С. Автоматизация учета продуктов питания в бюджетных учреждениях в программном продукте 1С: БГУ // Ступени роста – 2019: тезисы 71-й межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых. – Кострома: Костромской государственный университет, 2019. – С. 224–225. – eLIBRARY ID: 41309809.

2. Котов А. И. Автоматизация системы учета производственного процесса // Пути повышения эффективности экономической и социальной деятельности кооперативных организаций: материалы XI международной научно-практической конференции. – Краснодар: ИП Дедкова С. А., 2016. – С. 90–93. – eLIBRARY ID: 34987036.
3. Гроздева Е. А., Поляшова Н. А. Автоматизация учета и контроля продуктов питания в муниципальных бюджетных дошкольных образовательных учреждениях Республики Крым // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016. – № 11-1. – С. 53–56. – eLIBRARY ID: 27407970.
4. Кафтасьев И. Е., Толмачев Н. В., Спицын А. Г., Смирнов А. В. Автоматизированная информационная система учета питания обучающихся в муниципальных общеобразовательных учреждениях (АИС «Питание») : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2019618867. – 2019. – eLIBRARY ID: 39318509.
5. Ахметов И. В., Драншева Я. Ю. Применение автоматизации для повышения качества обслуживания в сфере питания производственной компании // Componentsof Scientific andTechnologicalProgress. – 2023. – № 6 (84). – С. 80–84. – eLIBRARY ID: 54309147.
6. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBVHJO.
7. Математическое обеспечение информационно-управляющей системы для хранения продукции с ограниченным сроком хранения / Д. В. Арапов, Н. Ю. Юдина, В. А. Курицын, Л. А. Коробова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 7-18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – EDN CXBIVK.
8. Высоцкая, И. А. Поиск множества допустимых управленческих решений в технических системах / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 35-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42. – EDN RMCOIA.

References

1. Shevyakova L. S. Automation of food product accounting in budgetary institutions using the 1C: Public Sector Accounting software // Steps of Growth – 2019:

Proceedings of the 71st Interregional Scientific and Practical Conference of Young Scientists. – Kostroma: Kostroma State University, 2019. – pp. 224–225. – eLIBRARY ID: 41309809.

2. Kotov A. I. Automation of the production process accounting system // Ways to Improve the Efficiency of Economic and Social Activities of Cooperative Organizations: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference. – Krasnodar: IP Dedkova S. A., 2016. – pp. 90–93. – eLIBRARY ID: 34987036.

3. Grozdeva E. A., Polyashova N. A. Automation of accounting and control of food products in municipal budgetary preschool educational institutions of the Republic of Crimea // New Science: Current State and Development Paths. – 2016. – No. 11-1. – pp. 53–56. – eLIBRARY ID: 27407970.

4. Kaftasyev I. E., Tolmachev N. V., Spitsyn A. G., Smirnov A. V. Automated information system for accounting of students' meals in municipal general educational institutions (AIS "Nutrition"): Certificate of State Registration of Computer Program No. RU 2019618867. – 2019. – eLIBRARY ID: 39318509.

5. Akhmetov I. V., Dransheva Ya. Yu. Application of automation to improve service quality in the food sector of a manufacturing company // Components of Scientific and Technological Progress. – 2023. – No. 6 (84). – pp. 80–84. – eLIBRARY ID: 54309147.

6. Sumin, V. I. Use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A. V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. – 2024. – V. 17, No. 3. – P. 71–79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

7. Mathematical Support for an Information and Control System for Storing Products with a Limited Shelf Life / D. V. Arapov, N. Yu. Yudina, V. A. Kuritsyn, and L. A. Korobova // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 7–18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – EDN CXBIVK.

8. Vysotskaya, I. A. Search for a set of admissible management decisions in technical systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 35–42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42. – EDN RMCOIA.

ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И УЧЕТА ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

Д.А. Астанина¹, В.И. Анциферова¹, М.С. Солодова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается методический подход к учету производства детского питания в частных образовательных организациях. Актуальность исследования связана с необходимостью повышения прозрачности учета и управляемости затрат в условиях внебюджетного финансирования. Проанализированы особенности организации производства детского питания и выявлены проблемы учета, ограничивающие использование учетных данных в управленческих целях. Предложен авторский методический подход, направленный на формирование достоверной информации о расходе сырья и себестоимости питания, и ее использование при принятии управленческих решений.

Ключевые слова: детское питание, учет производства, методический подход, управленческий учет, частные образовательные организации, контроль затрат, экономическая эффективность.

FEATURES AND PROBLEMS OF ORGANIZING AND ACCOUNTING FOR CHILDREN'S NUTRITION

D.A. Astanina¹, V.I. Antsiferova¹, M.S. Solodova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines a methodological approach to accounting for children's food production in private educational organizations. The relevance of the study is associated with the need to improve accounting transparency and cost manageability under conditions of non-budgetary financing. The specifics of organizing children's food production are analyzed, and accounting issues limiting the use of accounting data for managerial purposes are identified. An author's methodological approach aimed at generating reliable information on raw material consumption and the cost of catering services and its use in managerial decision-making is proposed.

Keywords: children's food, production accounting, methodological approach, management accounting, private educational organizations, cost control, economic efficiency.

Введение

Вопросы организации и учета детского питания в образовательных учреждениях традиционно рассматриваются в контексте соблюдения санитарных норм и обеспечения сбалансированного рациона обучающихся. Вместе с тем в условиях развития частного сектора образования все более значимым становится экономический аспект данной деятельности, требующий системного подхода к учету производственных и материальных затрат. Для частных образовательных организаций учет производства детского питания является не только инструментом фиксации хозяйственных операций, но и важным элементом управления ресурсами.

Специфика функционирования частных школ заключается в сочетании образовательной и хозяйственной деятельности при преобладании внебюджетных источников финансирования. В этих условиях недостаточная детализация учета производства питания и формальный подход к отражению затрат могут приводить к искажению информации о фактической себестоимости питания и снижению эффективности управленческих решений. При этом учет зачастую ограничивается рамками бухгалтерской отчетности и не используется в качестве источника аналитических данных для управления.

Практика показывает, что существующие подходы к учету детского питания в образовательных организациях ориентированы преимущественно на бюджетный сектор и не в полной мере учитывают особенности частных школ. В результате учетные данные формируются разрозненно и не обеспечивают необходимой прозрачности процессов производства и расхода сырья. Отсутствие единого методического подхода затрудняет сопоставимость показателей, анализ отклонений и планирование затрат на питание.

В современных условиях учет производства детского питания должен рассматриваться как элемент управленческого учета, обеспечивающий руководство образовательной организации достоверной и своевременной информацией о расходе ресурсов и формировании затрат. Такой подход требует не только применения информационных систем, но и разработки методических принципов учета, адаптированных к специфике деятельности частных образовательных организаций.

В связи с этим целью настоящей статьи является разработка и обоснование методического подхода к учету производства детского питания в частных образовательных организациях, ориентированного на повышение прозрачности учета и эффективности управленческих решений.

Особенности организации производства детского питания в частных школах

Организация производства детского питания в частных образовательных организациях формируется под влиянием как санитарно-гигиенических требований, так и экономических условий функционирования школы. В отличие от государственных учреждений, частные школы обладают большей автономией в вопросах организации питания, однако эта автономия сопровождается повышенной ответственностью за рациональное использование ресурсов и контроль затрат.

Производство детского питания в частных школах, как правило, осуществляется на базе собственного пищеблока либо с привлечением сторонних организаций при сохранении внутреннего контроля за качеством и объемом питания. Независимо от выбранной модели, процесс приготовления блюд включает закупку сырья, его хранение, обработку, приготовление и выдачу готовой продукции. Каждый из этих этапов требует учета и контроля, поскольку любые отклонения от установленных норм напрямую отражаются на себестоимости питания и финансовом результате образовательной организации.

Характерной особенностью является сочетание нормативного подхода к организации питания с необходимостью гибкого управления затратами. С одной стороны, производство детского питания подчиняется строгим требованиям по составу рациона и нормам расхода продуктов, с другой – частная школа заинтересована в оптимизации затрат без снижения качества питания. В этих условиях учет должен обеспечивать возможность сопоставления нормативных и фактических показателей, что не всегда реализуется в существующей практике.

Дополнительную сложность представляет зависимость объемов производства от контингента обучающихся и режима их пребывания в школе. Количество порций, ассортимент блюд и фактический расход сырья могут изменяться в течение отчетного периода, что требует оперативного учета и корректного отражения производственных данных. При отсутствии системного подхода такие изменения фиксируются с задержкой или не отражаются в учетной информации в полном объеме.

Таким образом, организация производства детского питания в частных школах характеризуется высокой степенью вариативности и требует учета как нормативных, так и экономических факторов. Это обуславливает необходимость разработки методического подхода к учету, позволяющего формировать достоверную информацию о производственных процессах и использовать ее для управления затратами и повышения эффективности деятельности образовательной организации.

Методические проблемы учета

Данные используют главным образом для отчётности, а не для поддержки управленческих решений. В итоге руководство образовательной организации не получает систематизированной информации о расходе сырья, себестоимости питания и эффективности работы пищеблока – а это серьёзно ограничивает возможности и стратегического, и оперативного управления.

Выявленные методические проблемы подтверждают необходимость разработки целостного подхода к учету производства детского питания в частных образовательных организациях, ориентированного на формирование достоверной и аналитически значимой информации, используемой в управленческих целях.

Авторский подход к учету производства детского питания

Предлагаемый авторский подход к учету производства детского питания в частных образовательных организациях основывается на рассмотрении учета не только как средства фиксации хозяйственных операций, но и как инструмента управленческого анализа. В центре данного подхода находится формирование достоверной информации о фактическом расходе сырья и себестоимости питания, позволяющей оценивать эффективность производственных процессов и принимать обоснованные управленческие решения.

Ключевым положением подхода является увязка нормативных показателей производства с фактическими данными учета. Нормы расхода сырья и выхода готовых блюд рассматриваются не как формальные значения, а как база для сопоставления с реальными результатами производственной деятельности. Это позволяет выявлять отклонения, анализировать причины их возникновения и использовать полученную информацию для корректировки организации питания и планирования закупок.

В рамках авторского подхода учет производства детского питания организуется по принципу сквозного отражения производственных операций. Расход

сырья, выпуск готовых блюд и формирование затрат рассматриваются как взаимосвязанные элементы единого процесса, отражаемого в учетной системе в рамках отчетного периода. Такой подход обеспечивает целостность учетных данных и повышает их аналитическую ценность.

Существенное внимание в предлагаемой методике уделяется формированию информации о себестоимости питания. Себестоимость рассматривается как результат совокупного влияния норм расхода сырья, фактического выпуска блюд и условий организации производственного процесса. Учет, организованный по данному принципу, позволяет анализировать структуру затрат и выявлять факторы, оказывающие наибольшее влияние на итоговую стоимость питания.

Использование данных учета для управленческих решений. Организация учета производства детского питания в рамках предложенного методического подхода позволяет рассматривать учетные данные не только как основу для отчетности, но и как источник информации для принятия управленческих решений. Формирование сведений о фактическом расходе сырья и себестоимости питания в разрезе отчетных периодов создает условия для анализа эффективности использования ресурсов в частной образовательной организации.

Использование учетных данных дает возможность своевременно выявлять отклонения фактических показателей от нормативных значений и анализировать причины их возникновения. Такая информация может служить основанием для корректировки планов закупок, изменения ассортимента блюд или оптимизации технологических процессов приготовления пищи. В результате учет становится инструментом не только контроля, но и регулирования производственной деятельности.

Существенное значение учетная информация приобретает при планировании затрат на питание. Для обоснования управленческих решений, направленных на минимизацию затрат при соблюдении установленных норм качества и пищевой ценности питания, может применяться модель оптимизации, основанная на методах линейного программирования.

Пусть x_i – количество единиц i -го продукта, используемого при формировании меню,

p_i – цена единицы i -го продукта,

a_{ji} – содержание j -го питательного вещества в i -м продукте (энергетическая ценность, белки, жиры, витамины и др.),

b_j – нормативная потребность в j -м питательном веществе.

В этом случае целевая функция минимизации совокупных затрат на питание имеет вид:

$$\min = \sum_{i=1}^n p_i x_i$$

при следующих ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n a_{ji} x_i \geq b_j, j = 1, 2, \dots, m,$$

Данная модель представляет собой стандартную задачу линейного программирования и позволяет определить оптимальную структуру меню с минимальными затратами при соблюдении установленных норм питания. Использование результатов оптимизации в сочетании с учетными данными о фактическом расходе сырья и себестоимости продукции обеспечивает повышение обоснованности управленческих решений и способствует рациональному распределению материальных ресурсов.

Кроме того, данные учета производства детского питания могут использоваться для оценки эффективности работы пищеблока и обоснования управленческих решений, направленных на повышение экономической устойчивости образовательной организации.

Заключение

В частных школах и других частных образовательных организациях учёт того, как производят детское питание, становится не просто бумажной формальностью. Это реальный инструмент для управления деньгами и материалами. Мы провели исследование и выяснили, что существующая практика далеко не всегда даёт полноценную информацию для анализа затрат и принятия решений. Почему? Потому что нет целостного методического подхода.

В статье мы предложили свой подход. Его суть простая: сравнивать нормативные и фактические показатели, собирать достоверные данные о расходе сырья и себестоимости, и главное – использовать учётную информацию для управления. Если внедрить такой подход, учётные процессы становятся прозрачнее, а управлять затратами в частных школах – эффективнее.

Наш метод универсальный. Его можно подстроить под разные модели организации питания в учебных заведениях. Так что это не абстрактная теория, а вполне практичный инструмент для частных школ. Он закладывает основу для того, чтобы учёт производства детского питания и дальше совершенствовался.

Список литературы

1. Ковалевская Д. А. Проблематика автоматизации бухгалтерского учета в общественном питании // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы: сборник трудов XII международной научно-практической конференции. – Пинск: Полесский государственный университет, 2018. – С. 46–48. – eLIBRARY ID: 34979590.
2. Северьянова Е. Д. Возможность автоматизации процессов контроля продуктов питания в дошкольных образовательных организациях // Обществознание и социальная психология. – 2023. – № 5-3 (49). – С. 102–107. – eLIBRARY ID: 53702133.
3. Гроздева Е. А., Поляшова Н. А. Автоматизация учета и контроля продуктов питания в муниципальных бюджетных дошкольных образовательных учреждениях Республики Крым // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016. – № 11-1. – С. 53–56. – eLIBRARY ID: 27407970.
4. Еремина Е. В., Батенева В. А., Каменева А. А., Рыжкова И. А., Самылкин А. А. Оценка организации питания детей в дошкольном образовательном учреждении г. Екатеринбурга // Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. – Екатеринбург: Уральский государственный медицинский университет, 2023. – С. 647–653. – eLIBRARY ID: 54146723.
5. Долгополова С. В. Анализ качества организации питания детей в государственных образовательных учреждениях // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – № 2 (55). – С. 110–113. – eLIBRARY ID: 37539522
6. Математическое обеспечение информационно-управляющей системы для хранения продукции с ограниченным сроком хранения / Д. В. Арапов, Н. Ю. Юдина, В. А. Курицын, Л. А. Коробова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 7-18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – EDN CXBIVK.
7. Высоцкая, И. А. Поиск множества допустимых управленческих решений в технических системах / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 35-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42. – EDN RMC0IA.
8. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А. В. Скрыпников, И. А. Высоцкая, С. А.

Евдокимова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128. – EDN MMIAIH.

References

1. Kovalevskaya D. A. Issues of accounting automation in public catering // Sustainable Economic Development: State, Problems, Prospects: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. – Pinsk: Polesky State University, 2018. – pp. 46–48. – eLIBRARY ID: 34979590.
2. Severyanova E. D. Possibilities of automation of food product control processes in preschool educational organizations // Social Studies and Social Psychology. – 2023. – No. 5-3 (49). – pp. 102–107. – eLIBRARY ID: 53702133.
3. Grozdeva E. A., Polyashova N. A. Automation of accounting and control of food products in municipal budgetary preschool educational institutions of the Republic of Crimea // New Science: Current State and Development Paths. – 2016. – No. 11-1. – pp. 53–56. – eLIBRARY ID: 27407970.
4. Eremina E. V., Bateneva V. A., Kameneva A. A., Ryzhkova I. A., Samylkin A. A. Evaluation of the organization of children's nutrition in a preschool educational institution of Yekaterinburg // Current Issues of Modern Medical Science and Healthcare: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students. – Yekaterinburg: Ural State Medical University, 2023. – pp. 647–653. – eLIBRARY ID: 54146723.
5. Dolgopolova S. V. Analysis of the quality of organization of children's nutrition in public educational institutions // Technology and Commodity Research of Innovative Food Products. – 2019. – No. 2 (55). – pp. 110–113. – eLIBRARY ID: 37539522
6. Mathematical Support for an Information and Control System for Storing Products with a Limited Shelf Life / D. V. Arapov, N. Yu. Yudina, V. A. Kuritsyn, and L. A. Korobova // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 7-18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – EDN CXBIVK.
7. Vysotskaya, I. A. Search for a set of admissible management decisions in technical systems / I. A. Vysotskaya // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 35-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-35-42. – EDN RMCOIA.
8. Selection of the Optimal Decision-Making Criterion in Complex Technical Systems / A. V. Skripnikov, I. A. Vysotskaya, S. A. Evdokimova [et al.] // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-120-128. – EDN MMIAIH.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕТА И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ

К.В. Астапенко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается процесс разработки информационной системы для автоматизации деятельности автозаправочной станции (АЗС). Проведён анализ существующих программных решений, выявлены их преимущества и недостатки. На основе функционального моделирования (IDEF0) и проектирования реляционной базы данных создана структура, обеспечивающая учёт клиентов, поставщиков, сотрудников, движения топлива и заказов. Реализация выполнена на платформе .NET с использованием языка C# и СУБД SQL Server.

Ключевые слова: автоматизация, автозаправочная станция, информационная система, база данных, C#, Windows Forms, SQL Server, учёт топлива.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN INFORMATION SYSTEM FOR ACCOUNTING AND MANAGEMENT AUTOMATION AT A GAS STATION

K.V. Astapenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the process of developing an information system for automating the activities of a gas station. An analysis of existing software solutions is carried out, their advantages and disadvantages are identified. Based on functional modeling (IDEF0) and relational database design, a structure is created that provides accounting for customers, suppliers, employees, fuel movement and orders. The implementation is carried out on the .NET platform using C# and SQL Server DBMS. The key modules of the system are described: authorization, directory management, fuel balance control, price calculator and data export to Excel. Keywords: automation, gas station, information system, database, C#, Windows Forms, SQL Server, fuel accounting.

Keywords: automation, gas station, information system, database, C#, Windows Forms, SQL Server, fuel accounting.

Введение

Автозаправочные станции являются важным звеном транспортной инфраструктуры, и эффективность их работы напрямую влияет на удовлетворённость клиентов и рентабельность бизнеса. Традиционные методы учёта, основанные на бумажных журналах и несистематизированных таблицах, приводят к ошибкам, задержкам в оформлении заказов и сложностям с контролем остатков топлива. Внедрение специализированных информационных систем (ИС) позволяет автоматизировать рутинные операции, ускорить обслуживание и обеспечить достоверность учётных данных [1, 2].

Целью данной работы является создание программного продукта, который охватывает ключевые процессы АЗС: ведение справочников клиентов, поставщиков и сотрудников; учёт поступления и реализации топлива; автоматический расчёт остатков; формирование отчётности. В статье представлены этапы проектирования, выбранные технологические решения и функциональные возможности разработанной системы.

Анализ существующих решений для автоматизации АЗС

На рынке присутствуют готовые программные комплексы, такие как «INIT Оптима», «Нева-Сервис АЗС» и GasKit. Каждая из этих систем предлагает автоматизацию управления топливораздаточными колонками (ТРК), поддержку различных способов оплаты и формирование сменных отчётов [3–5]. Однако анализ показал, что данные продукты либо обладают избыточной функциональностью и высокой стоимостью, либо недостаточно гибки в настройке справочной информации и учёте внутренних операций. Многие из них ориентированы на крупные сети АЗС и не учитывают потребности небольших станций, где важны простота интерфейса, возможность быстрого добавления новых марок топлива и прозрачный контроль складских запасов [6].

В связи с этим была поставлена задача разработать собственную информационную систему, адаптированную под специфику работы малой или средней АЗС и позволяющую вести учёт в единой базе данных с удобным пользовательским интерфейсом.

Проектирование информационной системы

На начальном этапе была описана предметная область. Основные функциональные требования включают: учёт реализации топлива (бензин, дизель, газ),

контроль безопасности, автоматизацию кассовых операций и интеграцию с топливными картами. К нефункциональным требованиям отнесены надёжность, масштабируемость, защита данных и интуитивно понятный интерфейс.

Для моделирования бизнес-процессов использовалась методология IDEF0. Контекстная диаграмма отражает взаимодействие АЗС с внешними сущностями (поставщики, клиенты, контролирующие органы). Декомпозиция процессов «Закупка топлива» и «Продажа топлива» позволила детализировать операции, связанные с формированием заказов, приёмкой товара и отпуском клиентам

На основе анализа прецедентов (UML) были выделены роли пользователей: администратор, оператор. Для каждой роли определены доступные функции. Диаграммы последовательности и DFD-диаграммы уточнили взаимодействие подсистем при создании заказа и выдаче топлива.

Проектирование базы данных

Инфологическая модель (ER-диаграмма) включает следующие сущности: «Клиент», «Сотрудник», «Поставщик», «Топливо», «Заказ», «Продажа». Связи между ними обеспечивают целостность данных и возможность формирования сложных запросов. Реляционная модель содержит таблицы с первичными и внешними ключами. Например, таблица «Заказы» связана с «Поставщиком» и содержит поля: код заказа, дата, код поставщика, марка топлива, количество литров, статус («Выполнен», «В процессе», «Отменён»). Таблица «Продажи» фиксирует отпуск топлива клиентам, ссылаясь на сотрудника, выполнившего операцию.

Все текстовые поля имеют тип `nvarchar` для поддержки кириллицы, числовые поля – `integer` или `money`. Для каждой таблицы установлены обязательные поля и ограничения.

Выбор инструментов разработки

Для реализации клиентского приложения выбрана платформа .NET Framework с языком C# и технологией Windows Forms. Данный выбор обусловлен высокой скоростью разработки, наличием богатой библиотеки компонентов и тесной интеграцией с СУБД SQL Server. SQL Server (LocalDB) обеспечивает надёжное хранение данных, поддержку транзакций и возможность выполнения сложных SQL-запросов. Для экспорта данных в Excel использована библиотека ClosedXML.

Программная реализация

Разработанное приложение имеет одноуровневую систему доступа: после ввода логина и пароля администратор получает доступ ко всем функциям. Главное меню содержит кнопки для перехода к формам работы с таблицами.

Основные модули системы:

Управление справочниками. Формы «Клиент», «Поставщик», «Сотрудники», «Топливо» позволяют добавлять, просматривать, редактировать и удалять записи. Реализован поиск по любым полям с использованием динамической фильтрации DataTable.

Учёт заказов и продаж. Форма «Заказы» отображает список заказов поставщикам. Цветовая индикация строк (зелёный – «Выполнен», жёлтый – «В процессе», красный – «Отменён») позволяет быстро оценить статус. При изменении статуса на «Выполнен» количество топлива автоматически добавляется в остатки (форма «Хранилище»). Форма «Продажи» фиксирует отпуск топлива клиентам, одновременно уменьшая соответствующий остаток в хранилище.

Мониторинг остатков. Форма «Хранилище» в реальном времени отображает актуальное количество топлива каждой марки. Кнопки обновления позволяют пересчитать остатки на основе данных из таблиц «Заказы» и «Продажи». Это исключает необходимость ручной инвентаризации.

Калькулятор цен. Форма позволяет выбрать марку топлива из выпадающего списка (данные подгружаются из таблицы «Топливо»), ввести объём в литрах и мгновенно получить итоговую стоимость. Расчёт выполняется при изменении значения в поле ввода.

Экспорт в Excel. На каждой форме с данными присутствует кнопка «Вывести в таблицу Excel». При её нажатии открывается диалог сохранения файла, и текущая таблица (с заголовками столбцов) выгружается в формат .xlsx. Это удобно для формирования отчётов и передачи данных в бухгалтерию.

Технические требования и производительность

Для стабильной работы приложения достаточно клиентского компьютера с процессором Intel Celeron 2 ГГц, 256 МБ ОЗУ и 500 МБ свободного места на диске. Операционная система – Windows 7 или новее. База данных может размещаться локально или на сервере с постоянным подключением. Использование SQL Server LocalDB упрощает развёртывание и не требует отдельного серверного ПО.

Результаты и перспективы

Разработанная информационная система внедрена в тестовую эксплуатацию на одной из АЗС. Предварительные результаты показали сокращение времени оформления заказа в среднем на 30%, устранение ошибок при подсчёте остатков и упрощение подготовки ежемесячной отчётности. Благодаря интуитивному интерфейсу обучение персонала заняло менее одного дня.

В дальнейшем планируется расширить функционал: добавить возможность печати чеков, интегрировать с кассовым оборудованием, реализовать многопользовательский режим с разграничением прав доступа (оператор, администратор, бухгалтер), а также создать веб-версию для удалённого мониторинга.

Заключение

В ходе работы создано законченное программное решение для автоматизации учёта и управления автозаправочной станцией. Использование современных технологий (C#, Windows Forms, SQL Server) позволило обеспечить надёжность, производительность и удобство сопровождения. Система охватывает все ключевые операции: ведение справочников, учёт движения топлива, контроль остатков и формирование отчётности. Реализованный функционал соответствует поставленным задачам и может быть рекомендован к использованию на малых и средних АЗС.

Список литературы

1. Новикова, Т. П. Архитектура информационных систем : учеб. пособие / Т. П. Новикова, О. В. Оксюта, К. В. Зольников. – Воронеж : ВГЛУ, 2017. – 115 с. – Текст : непосредственный.
2. Петров, П. П. Информационные технологии в бизнесе / П. П. Петров. – Санкт-Петербург : Питер, 2020. – 400 с. – Текст : непосредственный.
3. АСУ ОПТИМА : автоматизация учёта приёма-отпуска топлива // Init-Plus: [сайт]. – URL: <https://init-plus.com/products/software/asu-optima/> (дата обращения: 20.02.2026). – Текст : электронный.
4. Нева-Сервис : оборудование для АЗС и нефтебаз // Нева-Сервис: [сайт]. – URL: <https://nevaservice.ru> (дата обращения: 20.02.2026). – Текст : электронный.
5. GasKit : система автоматизации АЗС // КИП-Прибор: [сайт]. – URL: <https://www.kip.prompribor.ru/produktsiya/297-programmnoe-obespechenie/394-gaskit-sistema-avtomatizatsii-azs> (дата обращения: 20.02.2026). – Текст : электронный.

6. Тимофеев, Т. Н. Разработка приложений на Windows Forms : учеб. пособие / Т. Н. Тимофеев. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 400 с. – Текст : непосредственный.
7. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт. – Москва : Вильямс, 2019. – 160 с. – Текст : непосредственный.
8. Орлов, О. В. Информационные технологии в управлении / О. В. Орлов. – Москва : Юнити, 2019. – 390 с. – Текст : непосредственный.
9. Федоров, Ф. Ф. Управление данными в организациях / Ф. Ф. Федоров. – Москва : Вузовский учебник, 2018. – 360 с. – Текст : непосредственный.
10. Алексеев, А. А. Программирование на C# для начинающих / А. А. Алексеев. – Москва : Вильямс, 2021. – 512 с. – Текст : непосредственный.
11. Ильин, И. П. Методы и средства разработки информационных систем / И. П. Ильин. – Москва : Финансы и статистика, 2020. – 420 с. – Текст : непосредственный.
12. ГОСТ Р 58404-2019. Станции автозаправочные. Оборудование. Технические условия : национальный стандарт : дата введения 2020-01-01 // КонсультантПлюс: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164025> (дата обращения: 20.02.2026). – Текст : электронный.
13. Балдин, К. В. Информационные системы в экономике / К. В. Балдин. – Москва : Дашков и Ко, 2018. – 396 с. – Текст : непосредственный.
14. Редько, В. Н. Базы данных и информационные системы / В. Н. Редько. – Москва : Знание, 2017. – 263 с. – Текст : непосредственный.
15. C# Programming Guide // Microsoft Docs: [сайт]. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/> (дата обращения: 20.02.2026). – Текст : электронный.
16. Windows Forms Documentation // Microsoft Docs: [сайт]. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/> (дата обращения: 20.02.2026). – Текст : электронный.

References

1. Novikova, T. P. Architecture of information systems : textbook. post / T. P. Novikova, O. V. Oksana, K. V. Zolnikov. Voronezh : VGLTU, 2017. 115 p. – Text : direct.
2. Petrov, P. P. Information technologies in business / P. P. Petrov. – St. Petersburg : Peter, 2020. – 400 p. – Text : direct.

3. OPTIMA automated control system : automation of fuel intake and release accounting // Init-Plus: [website]. – URL: <https://init-plus.com/products/software/asu-optima/> (date of access: 02/20/2026). – Text : electronic.
4. Neva-Service : equipment for gas stations and oil depots // Neva-Service: [website]. – URL: <https://nevaservice.ru> (date of request: 02/20/2026). – Text : electronic.
5. GasKit : gas station automation system // KIP-Device: [website]. – URL: <https://www.kip.prompribor.ru/produktsiya/297-programmnoe-obespechenie/394-gaskit-sistema-avtomatizatsii-azs> (date of request: 02/20/2026). – Text : electronic.
6. Timofeev, T. N. Application development on Windows Forms : textbook. manual / T. N. Timofeev. – St. Petersburg : Lan, 2020. – 400 p. – Text : direct.
7. Date, K. J. Introduction to database systems / K. J. Date. Moscow : Williams, 2019. 160 p. – Text : direct.
8. Orlov, O. V. Information technologies in management / O. V. Orlov. – Moscow : Unity, 2019. – 390 p. – Text : direct.
9. Fedorov, F. F. Data management in organizations / F. F. Fedorov. – Moscow : University textbook, 2018. 360 p. – Text : direct.
10. Alekseev, A. A. Programming in C# for beginners / A. A. Alekseev. – Moscow : Williams, 2021. 512 p. – Text : direct.
11. Ilyin, I. P. Methods and means of developing information systems / I. P. Ilyin. Moscow : Finance and Statistics, 2020. 420 p. – Text : direct.
12. GOST R 58404-2019. Gas stations. Equipment. Technical specifications : national standard : date of introduction 2020-01-01 // ConsultantPlus: [website]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164025> (date of request: 02/20/2026). – Text : electronic.
13. Baldin, K. V. Information systems in economics / K. V. Baldin. Moscow : Dashkov and Co., 2018. 396 p. – Text : direct.
14. Redko, V. N. Databases and information systems / V. N. Redko. – Moscow : Znanie Publ., 2017. – 263 p. – Text : direct.
15. C# Programming Guide // Microsoft Docs: [website]. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/> (date of access: 02/20/2026). – Text : electronic.
16. Windows Forms Documentation // Microsoft Docs: [website]. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/> (date of access: 02/20/2026). – Text : electronic.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ АСПЕКТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Д.А. Бизеев¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, В.Ф. Асминин¹, Н.В. Акамсина³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В работе обосновывается, что автоматизированные информационные системы находят применение в широком спектре отраслей. Представлена классификация основных видов таких систем. Показано, что автоматизированным системам присуща реализация технологических процессов в виде последовательности взаимосвязанных операций, выполняемых в автоматическом режиме. Целью внедрения автоматизированных систем выступает ускорение научно-технического прогресса в различных сферах жизнедеятельности общества.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, технологические процессы, виды систем, планирование, аспекты снабжения, управление производством.

RESEARCH OF THE MAIN ASPECTS OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS

D.A. Bizeev¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, V.F. Asminin¹, N.V. Akamsina³

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

³Voronezh State Technical University

Abstract. It is shown that an automated information system can be used in a wide variety of industries. The types of automated information systems are considered. It is shown that automated systems are characterized by the implementation of technologies in the form of a sequence of inter-related functions that are performed automatically, and that the purpose of using automated systems is to develop scientific and technological progress in many areas of society.

Keywords: automated information system, technological processes, types of systems, planning, supply aspects, production management.

Введение

Автоматизированные информационные системы, или сокращённо АИС, прочно вошли в повседневную практику самых разных организаций. Под этим термином понимают совокупность методов и средств, предназначенных для сбора, хранения, обработки и передачи данных при минимальном участии человека. Главное отличие АИС от обычного набора программ – наличие чёткой последовательности операций, которые выполняются в автоматическом режиме.

Спектр применения таких систем чрезвычайно широк. Их можно встретить и в розничной торговле, и в банковской сфере, и в деятельности государственных органов. Экономия времени и снижение влияния человеческого фактора – вот два главных эффекта от внедрения АИС. Они не только напоминают сотрудникам о запланированных событиях, но и могут сигнализировать о нештатных или опасных ситуациях.

Один из наглядных примеров – автоматизированная система оповещения о пропавших детях. Она действует как единая национальная сеть. Информация о ребёнке может рассылаться не на всю страну, а только в тот регион, где его предположительно ищут. В дело идут и дорожные табло, и телевидение, и радио, и SMS-рассылка. Такая система многократно ускоряет поиск и повышает его эффективность.

Как устроены АИС и из чего они состоят

Любая автоматизированная информационная система строится вокруг трёх обязательных компонентов. Это программное обеспечение, технические средства и люди, которые с этой системой работают. Софт может быть как покупным, так и разработанным специально под заказчика. Железо – компьютеры, серверы, сетевое оборудование – организация либо уже имеет, либо приобретает отдельно. И наконец, без подготовленных сотрудников даже самая совершенная АИС остаётся бесполезной.

Предшественниками АИС были автоматизированные системы управления (АСУ). Одним из пионеров в этой области считается Николай Иванович Ведуга, который ещё в советское время внедрил такую систему на машиностроительных заводах. АСУ представляет собой объединение управленческих процессов и объектов в единое целое. Её цель – повысить эффективность работы управляемой системы. От первых электромеханических машин для расчёта зарплаты до современных корпоративных информационных систем – путь был долгим, и сегодня АСУ встречаются повсеместно.

Разновидности автоматизированных систем

АИС принято делить на две крупные подсистемы: функциональную и обеспечивающую. Первая отвечает за непосредственное решение задач – учёт, контроль, анализ, регулирование. Вторая – за техническую и программную поддержку, а также за снабжение информацией.

По своему внутреннему устройству АИС может быть иерархической, сетевой или табличной. Иерархические системы напоминают дерево: от главного узла отходят ветви к подчинённым, и связи идут только сверху вниз. Классический пример – структура вуза, где от университета идут факультеты, от факультетов – кафедры и так далее. Сетевые системы добавляют обратные связи, что делает их более гибкими. Интернет – типичный пример такой архитектуры. Табличные системы (реляционные базы данных) сегодня стали самым массовым способом хранения информации. Данные в них организованы в виде двумерных таблиц с одинаковыми свойствами записей.

Для управления базами данных существуют специальные программные комплексы – СУБД, такие как Microsoft Access или Microsoft SQL Server. Они позволяют заполнять, обрабатывать и извлекать информацию без написания сложного кода. Но когда возможностей СУБД не хватает, на помощь приходят языки программирования.

Краткий обзор языков программирования

Язык программирования – это формальная система для записи алгоритмов. У каждого языка свой синтаксис и своя область применения. Среди множества существующих языков можно выделить несколько наиболее популярных.

Delphi (диалект Object Pascal) появился в середине 80-х годов. Его главное достоинство – быстрый компилятор и простая среда разработки. В конце 2000-х он начал сдавать позиции из-за бума веб- и мобильных технологий, а также высокой стоимости лицензий.

Язык С отличается минимализмом и эффективностью. Программы на нём занимают мало места, а компилятор проходит код всего один раз. С сложен для новичков, но даёт программисту полный контроль над железом.

Microsoft Visual Basic – наследник классического Basic. Его отличает простота синтаксиса и возможность компиляции как в машинный код, так и в промежуточный. Из недостатков – привязанность к Windows и низкая скорость выполнения из-за постоянных проверок типов.

Для работы с базами данных активно используются встроенные языки. Oracle – одна из самых известных реализаций SQL. Она работает на многих операционных системах, поддерживает хранимые функции и пакеты. Её сильная сторона – высокая производительность и никогда не блокирующееся чтение данных. Слабые стороны – сложность с резервным копированием и миграцией.

Microsoft Access, помимо роли простой СУБД, включает в себя встроенный язык VBA и поддержку SQL. Это делает его доступным для начинающих, но пригодным и для серьёзных проектов. Данные в Access сохраняются мгновенно при переходе между ячейками. Он позволяет создавать таблицы, формы, отчёты и сложные запросы.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что информационные системы и компьютеры – не одно и то же. ЭВМ с установленным софтом – это только база, платформа. Сама же информационная система возникает лишь тогда, когда в неё включается человек. Без взаимодействия с пользователем любая АИС мертва. Понимание этого различия важно для грамотного проектирования автоматизации в любой сфере.

Следует также отметить, что для автоматизированных систем характерна реализация технологических процессов в виде последовательности взаимосвязанных операций, выполняемых в автоматическом режиме. Целью внедрения и применения автоматизированных систем является ускорение научно-технического прогресса в различных сферах жизнедеятельности общества.

При подготовке данной статьи использовались материалы исследований [1–13].

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.
2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.

3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. – EDN: GBWORY.
4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. – EDN: QSOCOS.
5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.
6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.
7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.
8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.
9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2025. – С. 94-99.
10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.
11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.

12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFHX.

13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.

2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.

3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.

4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.

5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.

6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.

7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.

8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication networks // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.
10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.
11. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.
12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И БАЗ ДАННЫХ

Д.А. Бизеев¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, Н.В. Мозговой³, В.Ф. Асминин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы использования баз данных и языков программирования при создании автоматизированных информационных систем. Дана характеристика трёх основных разновидностей баз данных – иерархических, сетевых и реляционных (табличных). Выполнен обзор ключевых языков программирования, применяемых для разработки прикладного программного обеспечения. Результаты исследования предполагается использовать при проектировании информационной системы банка, предназначенной для автоматизации процессов выдачи кредитов.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, база данных, информационная модель, классификация баз данных, языки программирования.

RESEARCH OF MODERN INFORMATION SYSTEMS AND DATABASES

D.A. Bizeev¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, N.V. Mozgovoy³, V.F. Asminin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

³Voronezh State Technical University

Abstract. The paper shows that the development of automated information systems typically relies on databases and programming languages. Three types of databases are examined: hierarchical, network, and tabular (relational). An overview of major programming languages is provided. The findings of this research are intended to be applied in the design of a banking information system for loan issuance.

Keywords: automated information system, databases, information model, database types, programming languages.

Введение

При создании автоматизированных информационных систем фундаментом чаще всего служат базы данных. Под базой данных понимается структурированная модель, обеспечивающая упорядоченное хранение информации, обладающей однородными характеристиками. Иными словами, база данных выполняет функцию информационной модели – она организует данные так, чтобы с ними было удобно работать.

Классификация баз данных

По своему устройству базы данных принято делить на три крупные группы.

Иерархические базы данных

По организации они напоминают дерево, где связи тянутся от корня (предка) к ветвям (потомкам). Добраться до нижнего уровня можно только через все вышестоящие ступени. У каждого потомка – только один предок, а у предка может быть сколько угодно потомков, вплоть до нуля. Хрестоматийный пример иерархической структуры – система высшего образования на примере университета. Сам вуз – это корневой объект. От него идут две ветви: инфраструктура и факультеты. Факультет, в свою очередь, выступает предком для студентов, преподавателей и учебных курсов. А каждый курс далее делится на лекции и практические занятия – это уже конечные «листья» дерева. У такого подхода есть два серьёзных минуса: громоздкость и жёсткость (связи действуют только в одну сторону, что не всегда удобно). Пример такой структуры показан на рисунке 1.

Сетевые базы данных

Сетевая модель – это развитие иерархической, но с одним важным дополнением: здесь появляются обратные связи. Это существенно облегчает взаимодействие между объектами. Самый наглядный пример сетевой организации данных – интернет. Гиперссылки связывают в единую паутину документы, пользователей, файлы и множество других сущностей.

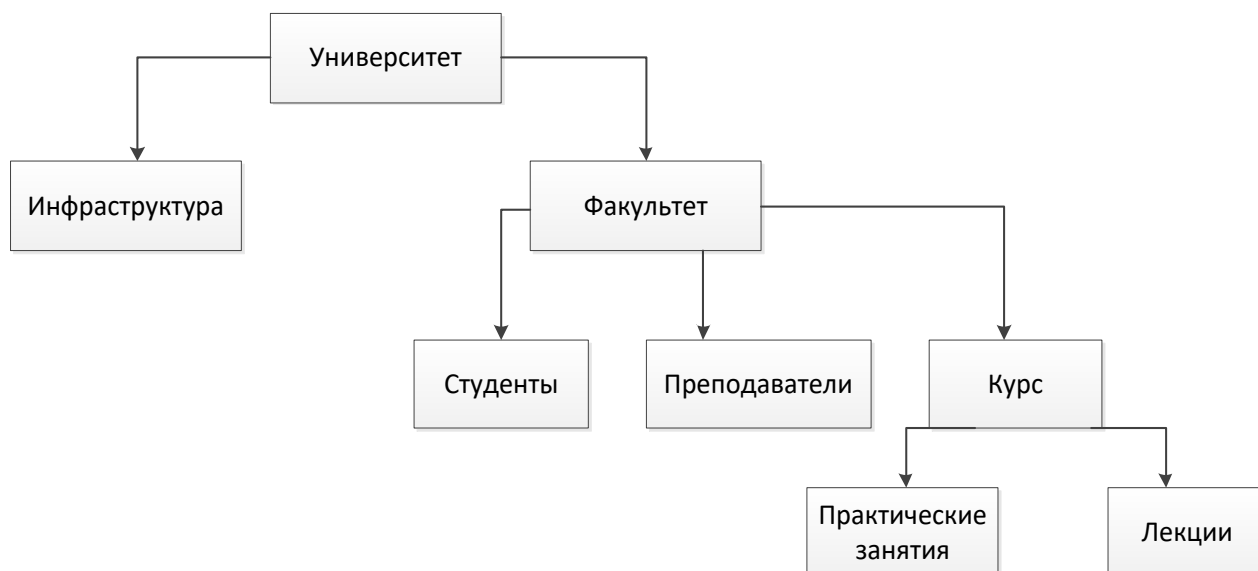


Рисунок 1 – Пример иерархической схемы

Табличные (реляционные) базы данных

Этот тип представляет собой двумерные таблицы, где каждая строка – это отдельная запись, а столбцы – её свойства. Табличные базы данных стали сегодня самыми распространёнными. Их используют повсеместно – от небольших предприятий до крупных корпораций.

Системы управления базами данных (СУБД)

Сами по себе базы данных – это всего лишь хранилище. Без специального программного инструмента взаимодействовать с ними невозможно. Таким инструментом выступают системы управления базами данных (СУБД). Именно они позволяют наполнять базы, обрабатывать информацию и извлекать из неё нужные сведения.

Однако даже самых совершенных СУБД иногда не хватает. Возникают задачи, которые стандартными средствами не решить. Тогда на помощь приходят языки программирования. Язык программирования – это формальная система со своим синтаксисом и правилами. У каждого языка свои особенности, но цель у всех одна – превратить действия пользователя в последовательность команд, понятную компьютеру.

Примеры популярных СУБД – Microsoft Access и Microsoft SQL Server. Что касается языков программирования, их насчитываются сотни. За последнее десятилетие особую известность получили три направления: Pascal (чаще всего его используют в учебных целях для знакомства с основами), семейство C (C, C++, C#) и стремительно набирающий популярность Python. Разумеется, это далеко

не полный список. С каждым годом число языков растёт, и в ближайшем будущем их станет ещё больше – поскольку потребности в компьютерной обработке данных и программном обеспечении постоянно увеличиваются.

Как появились языки программирования: короткая история

Корни языков программирования уходят в эпоху первых механизированных устройств. Тогда впервые попытались заменить ручной труд автоматизированным с помощью программ – пусть те программы были совсем не такими, как сегодня. Классический пример – ткацкий станок с программным управлением. До его изобретения человек выполнял монотонную работу вручную. С появлением «программируемого» станка производство резко ускорилося.

Следующий важный этап наступил на рубеже XIX и XX веков. Тогда появились перфокарты – картонные карточки, где информация кодировалась наличием или отсутствием отверстия. Это был прообраз двоичной системы счисления, которая позже легла в основу всей вычислительной техники.

Со временем большинство популярных языков прошли через международную стандартизацию – чтобы облегчить сотрудничество между программистами из разных стран.

Два главных типа языков программирования

Все языки можно условно разделить на две категории. Первая и самая массовая – компилируемые языки. Их суть: исходный текст переводится в машинный код, который затем исполняется процессором как самостоятельная программа. Плюс – высокая скорость выполнения. Минус – нельзя изменить код на лету, прямо в процессе работы. Вторая категория – интерпретируемые языки. Программа на таком языке запускается только при наличии интерпретатора (специальной программы-переводчика). Для любого интерпретируемого языка интерпретатор можно создать, но это требует дополнительных усилий.

Delphi

Начнём обзор с Delphi. Его история стартовала в 1986 году, когда появился язык Object Pascal. Delphi – это, по сути, диалект Object Pascal. Pascal выбрали не случайно: на тот момент у него был самый быстрый компилятор среди всех популярных языков.

Особенность Delphi: формальное начало программы лежит в отдельном файле с расширением `dpr`, а остальной код – в другом файле (расширение `pas`). В

отличие от многих языков, Delphi не различает регистр букв в именах переменных и ключевых словах.

Достоинства: довольно простая среда разработки, которая по возможностям не уступает C++. Плюс отличный компилятор – изменения можно вносить и проверять почти мгновенно.

Однако на рубеже 2012–2013 годов Delphi начал сдавать позиции. Причины – бурный рост веб-разработок и мобильных приложений (где Delphi оказался не у дел), а также высокая цена по сравнению с конкурентами.

Язык C

Главный конкурент Delphi – язык C. Его отличает ярко выраженный минимализм. Программы на C легко компилировать с помощью однопроходного компилятора (он проходит код один раз и не возвращается). Маленький объём готовой программы на жёстком диске позволил C распространиться на самых разных компьютерах по всему миру. Важная черта – ориентация на процедуры и функции, что делает программу структурированной и избавляет главный блок (main) от лишней громоздкости.

Многие программисты ценят C за то, что он позволяет быстро создавать компиляторы для новых платформ и даёт чёткое понимание того, как на самом деле работает программа. Код на C часто оказывается эффективнее написанного на других языках.

Главный недостаток, который отмечают новички, – сложность освоения. C требует предварительного понимания основ программирования. Этот язык ориентирован на профессионалов. Хорошим подспорьем для его изучения служит Ассемблер – он помогает разобраться во многих неочевидных моментах. Впрочем, такой гибкостью и эффективностью обладают немногие языки, и семейство C выгодно отличается от прямых конкурентов.

Microsoft Visual Basic

Ещё один заметный игрок – Microsoft Visual Basic. Он возник как наследник классического Basic и унаследовал часть его синтаксиса. Visual Basic используют для быстрой разработки прототипов программ, приложений и баз данных.

Особенность Visual Basic – его можно компилировать как в промежуточный код, так и сразу в машинный. Простой синтаксис обеспечил языку огромную популярность.

Но недостатки тоже есть. Visual Basic защищён от ошибок с указателями и доступом к памяти – но именно это часто критикуют. Его невозможно запустить в Linux напрямую (только через виртуальную машину). Из-за постоянных обращений к системным библиотекам программа тратит много времени на проверку и преобразование типов.

Oracle и встроенные языки СУБД

Внутри СУБД часто применяются встроенные языки. Один из ярких примеров – Oracle, одна из самых популярных реализаций SQL. Плюс Oracle – он работает на большом количестве разных операционных систем. Он поддерживает скомпилированные функции и пакеты, умеет создавать отдельные блоки, которые не компилируются и используются как скрипты.

Пользователи Oracle ценят его за быстродействие. Можно записывать данные на два и более диска одновременно – это повышает сохранность и снижает риск потери информации. Главная особенность – никогда не блокирующееся чтение запросов; данные почти всегда читаются из сегмента отката. Минусы: традиционное резервное копирование невозможно, а миграция из старых файловых систем в ASM часто вызывает проблемы и требует отключения системы.

Microsoft Access

Ещё один пример встроенного языка – Microsoft Access. На первый взгляд это просто СУБД, но при ближайшем рассмотрении в ней обнаруживается встроенный язык VBA. Главное преимущество Access – простота и доступность даже для неподготовленного пользователя. Для более серьёзных задач в Access также встроен SQL, который позволяет строить точные и сложные запросы.

Другое важное достоинство – мгновенное сохранение данных. Достаточно перейти на другую ячейку, как в предыдущей сразу записывается и сохраняется введённое значение. Access позволяет создавать таблицы, экранные формы, отчёты и запросы. У него гибкая система представления информации: можно сохранять изменённый вид таблицы с фильтрами, сортировкой, настроенной шириной столбцов и высотой строк.

Заключение

Исследование современных информационных систем, баз данных и языков программирования выполнено с целью дальнейшей разработки банковской информационной системы для автоматизации выдачи кредитов.

При подготовке статьи использовались материалы исследований [1–13].

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.
2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.
3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. - EDN: GBWORY.
4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. - EDN: QSOCOS.
5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.
6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.
7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.
8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.
9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи

/ В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2025. – С. 94-99.

10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.

11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.

12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFHX.

13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.

2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.

3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.

4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.

5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.

6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.
7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.
8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication networks // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.
10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.
11. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.
12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ВХОДЯЩИХ БИЗНЕС-ДОКУМЕНТОВ: АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ РЕГУЛЯРНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ И КОНТЕКСТНОЙ ЛОГИКИ ВМЕСТО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Е.О. Бордюжа¹, А.И. Заревич¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится теоретический анализ и сравнительная оценка четырёх подходов к автоматизации документооборота. На примере изучения документооборота крупной компании ООО «Офисмаг», имеющей в общей сложности около 7000 сотрудников и более 112 поставщиков с уникальными шаблонами доказывается, что регулярные выражения и контекстная логика обеспечивают наиболее высокую устойчивость, прозрачность и экономичность при работе с неструктурированными и объемными документами. Предложенная в статье модель не требует обучения, не нуждается в ML-инженерах, не зависит от лицензий и адаптируется к новым шаблонам за минуты. Сравнение всех моделей показало, что регулярные выражения и контекстная логика является наиболее эффективным подходом к автоматизации бизнес-документов.

Ключевые слова: автоматизация документооборота, регулярные выражения, классификация документов, контекстная логика, бизнес-логика, машинное обучение, RPA, крупный бизнес, логистика, сравнение методов.

AUTOMATION OF INCOMING BUSINESS DOCUMENT PROCESSING: ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF REGULAR EXPRESSIONS AND CONTEXTUAL LOGIC INSTEAD OF MACHINE LEARNING

E.O. Bordyuzha¹, A.I. Zarevich¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: This article provides a theoretical analysis and comparative evaluation of four approaches to document workflow automation. Using the document workflow of a large company, OFFICEMAG LLC, with a total of approximately 7,000 employees and over 112 suppliers with unique

templates, it is demonstrated that regular expressions and contextual logic provide the highest stability, transparency, and cost-effectiveness when working with unstructured and voluminous documents. The model proposed in this article requires no training, requires no ML engineers, is license-independent, and adapts to new templates in minutes. A comparison of all models showed that regular expressions and contextual logic are the most effective approach to automating business documents.

Keywords: document automation, regular expressions, document classification, contextual logic, business logic, machine learning, RPA, large businesses, logistics, method comparison.

Введение

Компания «Офисмаг», один из крупнейших игроков на российском рынке канцелярских, хозяйственных и офисных товаров. Цифры говорят сами за себя: больше 50 тысяч клиентов и около полумиллиона входящих документов ежемесячно. Сюда входят заявки от покупателей, накладные от поставщиков, договоры с контрагентами. Поток огромный, и каждый документ нужно обработать.

Финансы и логистика: как растёт бизнес и почему нужна автоматизация

На рисунке 1 – динамика ключевых финансовых показателей «Офисмага» с 2011 по 2024 год. График наглядно показывает: выручка ползёт вверх с 0,8 миллиарда рублей до 6,7 миллиарда. Чистая прибыль и EBIT, несмотря на отдельные ямы и пики, тоже уверенно растут. Вывод прост: бизнес-модель устойчива, а управленцы знают своё дело. Но когда компания вырастает до такого уровня, ручные методы перестают работать. Чтобы не потерять темп и не утонуть в операционных расходах, нужна умная автоматизация. И в первую очередь – обработка входящих документов.

Традиционная схема – ручной ввод в 1С – раньше как-то работала. Но сейчас, когда объёмы взлетели, число партнёров выросло, а форматы документов стали такими разными, что глаза разбегаются, эта схема трещит по швам. Мы рассмотрели четыре варианта действий.

- Нанимать ещё людей и продолжать обрабатывать вручную.
- Внедрить RPA – программных роботов, которые имитируют действия человека.
- Построить ML-модель – обучить алгоритмы машинного обучения на примерах.
- Сделать собственную систему на регулярных выражениях и логических правилах (эдакий «умный фильтр»).

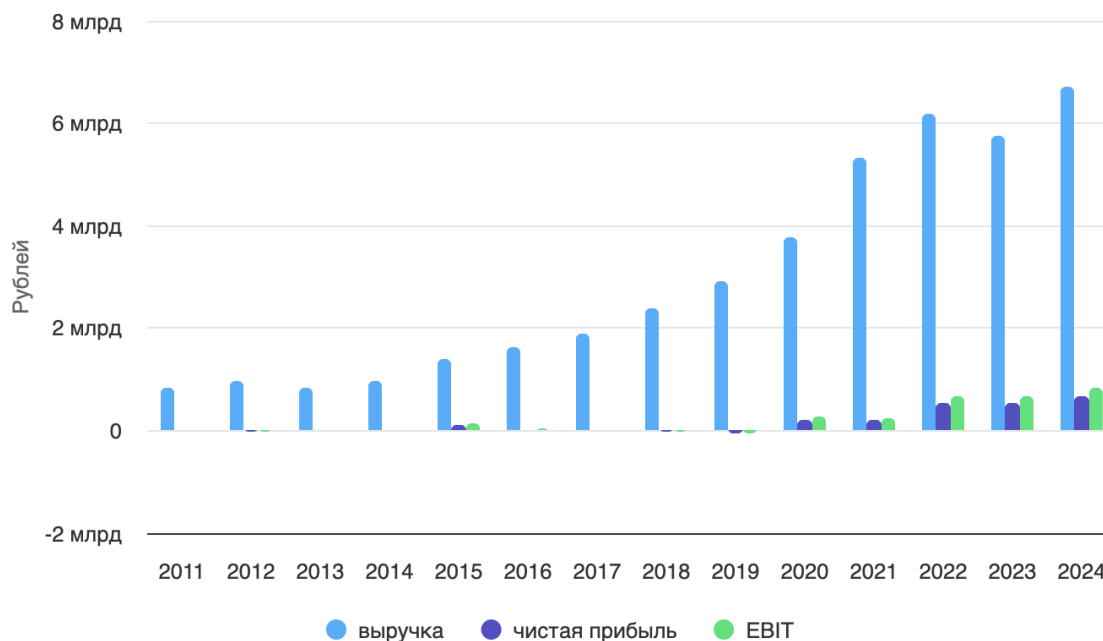


Рисунок 1 – Ключевые показатели деятельности организации, включая EBIT

Вариант первый: ручной ввод в 1С – классика, которая уже не тянет

Это самый привычный подход. Сотрудник открывает PDF или Word, смотрит глазами, перепечатывает данные в формы 1С. Всё просто, но дико долго.

Что хорошо: лишние лицензии не нужны, людей обучить легко.

Что плохо:

– На больших объёмах время уходит просто в никуда.

– Ошибки в 6–8% случаев – перепутанные суммы, даты, названия товаров.

– 2–3% документов теряются в почтовом хаосе и никогда не попадают в систему.

– Как только появляется новый поставщик с другой формой документа, всё надо перенастраивать вручную. Масштабируемость – ноль.

Итог: ручной ввод – костыль, временное решение. Для серьёзного бизнеса не годится.

Вариант второй: RPA – роботы, которые умеют копировать

RPA-платформы автоматизируют самые нудные действия: открыть PDF, вытащить текст через OCR, заполнить поля в 1С.

Плюсы:

– Всё работает само, без человека.

– Можно прикрутить к любой системе.

– Шаблоны настраиваются довольно гибко.

Минусы:

- Дорогое удовольствие: лицензия на 10 пользователей – около 1,5 млн рублей в год.
- Стоит измениться одному полю в документе – и робот ломается, надо перенастраивать.
- Требуется личного помощника: специалист по RPA перетряхивает шаблоны каждые 2–3 недели.
- У каждого поставщика свой формат, а поддерживать «зоопарк» из десятков шаблонов – та ещё головная боль.

Итог: RPA отлично работает на ровных, стандартных процессах. Но когда документы разные как день и ночь – не его история.

Вариант третий: ML-модели – умные, но прожорливые

Машинное обучение. Модель кормят размеченными примерами, и она постепенно учится находить в тексте сущности – имена, суммы, даты.

Плюсы:

- Если данных много и качество хорошее, точность высокая.
- Умеет обращаться с незнакомыми формулировками – не пасует перед новыми словами.
- Подходит для сложных документов: договоры, акты, юридические про-стыни.

Минусы:

- Нужны десятки тысяч документов, размеченных вручную. Это огромный труд.
- Разработка стоит от 3 до 8 миллионов рублей – команда из нескольких ML-инженеров, DevOps и аналитиков.
- Изменился формат – готовь новую разметку и переобучай модель.
- Требуется мощной инфраструктуры: сервер, GPU, облачные ресурсы – всё это деньги и время.

Итог: ML – это тяжёлая артиллерия. Очень мощно, но очень дорого и не поворотливо. Для бегущей реальности с меняющимися форматами – не лучший выбор.

Вариант четвёртый: регулярные выражения и логические правила – просто, дёшево, сердито

Сравнительный анализ

Все четыре подхода сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение подходов к автоматизации документооборота в условиях крупного бизнеса.

Критерий	Ручной ввод (1С)	RPA	ML-системы	Регулярные выражения и логика
Точность классификации	85%	88–90%	90–93%	94–96%
Точность извлечения данных	87%	89–91%	92–94%	93–98%
Устойчивость к вариативности	Низкая	Средняя (требует шаблонов)	Средняя (требует переобучения)	Высокая (адаптивные правила)
Стоимость внедрения	500 тыс. руб.	2–5 млн руб.	3–8 млн руб.	Менее 50 тыс. руб.
Время внедрения	3–6 мес.	2–4 мес.	4–8 мес.	1–2 недели
Требует ML/RPA-специалистов	Нет	Да	Да	Нет
Прозрачность решения	Да	Да	Нет	Полная
Масштабируемость	Нет	Да	Да	Высокая (конфигурация через JSON)
Поддержка 100+ поставщиков	Нет	Да	Да	Да (без переобучения)
Обучаемость персонала	Легко	Сложно	Очень сложно	Просто (бизнес-аналитик может настроить)

Этот подход не пытается имитировать человеческий интеллект. Он просто анализирует текст через регулярные выражения и набор правил, которые опираются на ключевые слова и типичные формы документов.

Как устроено:

– Классификация: например, если в тексте встречаются слова «заявка» и «поставка» – значит, документ типа «Заявка».

– Извлечение: например, ищем номер как «№» и следом 5–10 цифр.

Плюсы:

– Никаких лицензий – Python и open-source библиотеки бесплатны.

– Адаптация за секунды: появился новый поставщик – добавил 2–3 строки в JSON, и всё поехало.

– Полная прозрачность: правила как на ладони, их легко проверять и понимать.

– Не боится разнообразия – различает «№», «Номер», «Накл. №», «Ном.» и прочие варианты.

Минусы:

– Не подходит для юридических монстров – договоров на сотни пунктов, где всё переплетено.

– Правила надо проектировать с умом – это требует квалификации, но не такой запредельной, как ML.

Итог: золотая середина для крупного бизнеса с высокой вариативностью.

Заключение

Мы сравнили четыре подхода к автоматизации документооборота в крупной компании. Ручной ввод – вчерашний день, экономически и операционно несостоятелен. RPA – штука рабочая, но пасует перед разнообразием документов. ML – монстр высокой точности, но дорогой, медленный и капризный. А вот метод на основе регулярных выражений и семантических правил оказался самым устойчивым, гибким и дешёвым. В условиях крупного бизнеса, когда на тебя валится полмиллиона документов в месяц от сотен поставщиков, – это лучшее решение

Список литературы

1. Турупалов, В. В., Хорхордин, А. В. Методы анализа и синтеза цифровых систем автоматического управления / В. В. Турупалов, А. В. Хорхордин и др. – Москва : Инфра-Инженерия, 2022. – 204 с. – ISBN 978-5-9729-0878-3.

2. Автоматизация обработки входящих бизнес-документов на примере ООО «ОФИСМАГ» // Audit-it.ru. – URL: https://www.audit-it.ru/buh_otchet/5009062762_ooo-ofismag (дата обращения: 06.10.2025).

3. The Ultimate Guide to RPA and Machine Learning / SmartDev. – URL: <https://smartdev.com/the-ultimate-guide-to-rpa-and-machine-learning-how-they-work-together-to-drive-intelligent-automation/> (дата обращения: 05.10.2025).

4. Волкова, В. Н., Горелова, Г. В., Козлов, В. Н. Моделирование систем и процессов : учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, Г. В. Горелова, В. Н. Козлов [и др.] ; под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – Москва : Издательство Юрайт, 2014. – 592 с. – ISBN 978-5-9916-3742-8.

5. Моделирование систем и процессов : учебник для академического бакалавриата / под редакцией В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – Москва : Издательство Юрайт, 2016. – 450 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-

7322-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/392240> (дата обращения: 06.10.2025).

6. Бабайцев, В. А. Математические методы финансового анализа : учебное пособие для вузов / В. А. Бабайцев, В. Б. Гисин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 215 с.

7. Анализ поставщиков в условиях российского рынка офисных товаров / Статья в сборнике «Современные проблемы управления и экономики» : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 2024. – С. 112–118. – Авторы: А. В. Смирнов, Н. М. Лебедева.

8. Гойвертс, Ян, Левитан, Стивен. Регулярные выражения. Сборник рецептов : 2-е изд. / Ян Гойвертс, Стивен Левитан. – Москва : Эксмо, 2024. – 320 с. – ISBN 978-5-04-123456-7.

9. Фридл, Джеффри. Регулярные выражения / Джеффри Фридл ; пер. с англ. Е. Матвеева, А. Киселева ; научный редактор Б. Попов. – Санкт-Петербург : Символ-Плюс, 2008. – 608 с. – (Серия «Библиотека программиста»). – ISBN 978-5-4461-0646-2.

10. Применение элементов отрицательной логики при построении энергоэффективного комбинационного устройства / Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин, О. А. Денисова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 56–66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

11. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77–84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

References

1. Turupalov, V. V., Khorkhordin, A. V. Methods of analysis and synthesis of digital automatic control systems / V. V. Turupalov, A. V. Khorkhordin, et al. - Moscow: Infra-Engineering, 2022. - 204 p. - ISBN 978-5-9729-0878-3.

2. Automation of processing incoming business documents: the example of OFISMAG LLC // Audit-it.ru. - URL: https://www.audit-it.ru/buh_otchet/5009062762_ooo-ofismag (date of access: 06.10.2025).

3. The Ultimate Guide to RPA and Machine Learning / SmartDev. – URL: <https://smartdev.com/the-ultimate-guide-to-rpa-and-machine-learning-how-they-work-together-to-drive-intelligent-automation/> (accessed: 05.10.2025).

4. Volkova, V. N., Gorelova, G. V., Kozlov, V. N. Modeling of Systems and Processes: a textbook for the academic bachelor's degree / V. N. Volkova, G. V. Gorelova, V. N. Kozlov [et al.]; edited by V. N. Volkova, V. N. Kozlov. – Moscow: Yurait Publishing House, 2014. – 592 p. – ISBN 978-5-9916-3742-8.

5. Modeling of Systems and Processes: a textbook for the academic bachelor's degree / edited by V. N. Volkova, V. N. Kozlov. - Moscow: Yurait Publishing House, 2016. - 450 p. - (Bachelor's. Academic Course). - ISBN 978-5-9916-7322-8. - Text: electronic // Yurait Educational Platform [website]. - URL: <https://urait.ru/bcode/392240> (accessed: 06.10.2025).

6. Babaytsev, V. A. Mathematical Methods of Financial Analysis: a textbook for universities / V. A. Babaytsev, V. B. Gisin. - 2nd ed., corrected. and add. - Moscow: Yurait Publishing House, 2023. - 215 p.

7. Supplier Analysis in the Russian Office Supplies Market / Article in the collection "Modern Problems of Management and Economics": Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, 2024. – Pp. 112–118. – Authors: A. V. Smirnov, N. M. Lebedeva.

8. Goyvaerts, Jan, Levitan, Steven. Regular Expressions. A Cookbook: 2nd ed. / Jan Goyvaerts, Steven Levitan. – Moscow: Eksmo, 2024. – 320 p. – ISBN 978-5-04-123456-7.

9. Friedl, Jeffrey. Regular Expressions / Jeffrey Friedl; translated from English by E. Matveeva, A. Kiseleva; scientific editor B. Popov. – Saint Petersburg: Symbol-Plus, 2008. – 608 p. – (Series “Programmer’s Library”). – ISBN 978-5-4461-0646-2.

10. Application of negative logic elements in the construction of an energy-efficient combination device / F. V. Makarenko, A. S. Yagodkin, O. A. Denisova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

11. Computer simulation of transistors and semiconductor devices based on it / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, R. Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК И НАКЛАДНЫХ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ ООО «ОФИСМАГ»: ВЫЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗУЧЕННЫХ МЕТОДОВ

Е.О. Бордюжа¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной работе представлены результаты внедрения системы в реальных условиях ООО «Офисмаг» – крупнейшего российского поставщика канцелярских и офисных товаров. За 8 недель протестировано 12 087 документов, включающих в себя заявки, накладные и акты, поступившие от 112 поставщиков. Система продемонстрировала 95,6% точность классификации и 94,3% среднюю точность извлечения ключевых данных. Внедрение позволило сократить время обработки одного документа с 12 минут до 45 секунд, значительно снизить количество ошибок, устранить потери документов и освободить 15 000 человеко-часов в месяц. Расчёт экономического эффекта показал, что система окупается за 1,4 дня, а ежемесячная экономия составляет 18,3 млн рублей за счёт снижения трудозатрат и предотвращения операционных потерь. Результаты подтверждают, что выбранный метод в условиях крупного бизнеса превосходит сложные ML и RPA-решения по эффективности, надёжности и рентабельности.

Ключевые слова: автоматизация документооборота, регулярные выражения, эффективность, экономический эффект, логистика, 1С, ООО «Офисмаг».

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC APPLICATION AND INVOICE PROCESSING SYSTEM USING OFFISMAG LLC: IDENTIFYING THE EFFECTIVENESS OF THE METHODS STUDIED

E.O. Bordyuzha¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: This paper presents the results of the system's implementation in real-life conditions at OFFICEMAG LLC, Russia's largest supplier of office supplies. Over an eight-week period, 12,087

documents, including applications, invoices, and certificates received from 112 suppliers, were tested. The system demonstrated 95.6% classification accuracy and 94.3% average key data extraction accuracy. The implementation reduced the processing time per document from 12 minutes to 45 seconds, significantly reduced errors, eliminated document loss, and saved 15,000 man-hours per month. Cost-effectiveness calculations showed that the system pays for itself in 1.4 days, with monthly savings of 18.3 million rubles due to reduced labor costs and the avoidance of operational losses. The results confirm that the chosen method outperforms complex ML and RPA solutions in terms of efficiency, reliability, and cost-effectiveness for large businesses.

Keywords: document flow automation, regular expressions, efficiency, cost-effectiveness, logistics, 1C, OFFICEMAG LLC.

В проводимом ранее исследовании было выявлено, что регулярные выражения и контекстная логика является оптимальным подходом для обработки нестандартных документов. Следующим шагом следует проверить данный метод на практике. Рассматривается крупная логистическая компания ООО «Офисмаг», для которой задержки в обработке входящих документов, в частности накладных, напрямую влияют на соблюдение сроков поставок и целостность логистических цепочек, а ошибки в финансовых параметрах – на стабильность взаимоотношений с контрагентами и финансовую устойчивость операций. В условиях роста выручки с 0,8 млрд руб. в 2011 году до 6,7 млрд руб. в 2024 году и увеличения ежемесячного потока входящих документов до 500 000 единиц, ручная обработка документооборота превратилась в критический фактор риска, обуславливающий необходимость перехода к системной автоматизации как стратегической мере повышения эффективности и надёжности бизнес-процессов.

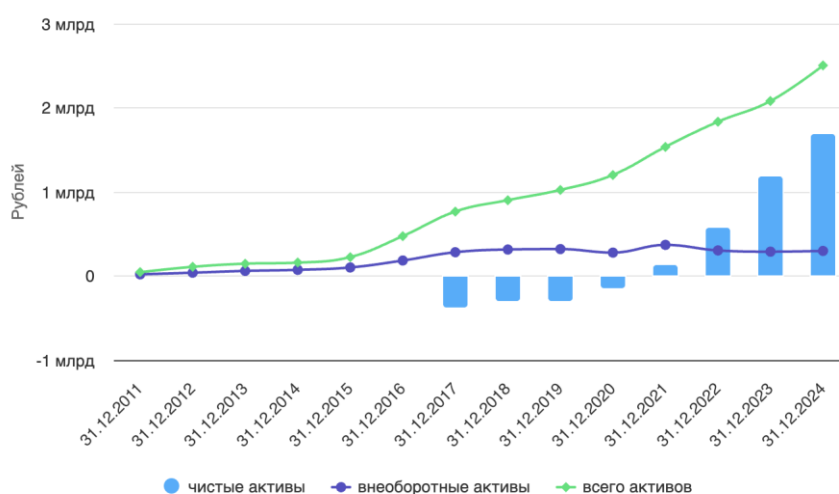


Рисунок 1 – Изменение капитала и резервов с суммой внеоборотных и всех активов организации

Для наглядной демонстрации динамики развития финансовой структуры ООО «Офисмаг» на рисунке 1 представлены изменения капитала и резервов, а также сумма внеоборотных и всех активов за период с 2011 по 2024 год. Видно, что общий объём активов компании увеличился более чем в 15 раз – с 68 млн руб. в 2011 году до 2,6 млрд руб. в 2024-м, при этом доля внеоборотных активов остаётся стабильной, а чистые активы демонстрируют положительную динамику, особенно с 2022 года, что свидетельствует о росте собственного капитала и финансовой устойчивости. Такая структурная динамика подтверждает стратегическую значимость оптимизации внутренних процессов, включая обработку документов, для сохранения темпов роста и эффективности управления.

Система, разработанная на основе регулярных выражений, была внедрена в отделах закупок и логистики трёх ключевых складских центров. За 8 недель было обработано 12 087 документов. Ниже представлены результаты, измеренные в реальных цифрах, и их влияние на экономику бизнеса.

Эксперимент проводился в период с 1 августа по 25 сентября 2025 года. В него вошли документы, поступившие из почты и электронных систем поставщиков: заявки на закупку, накладные, акты выполненных работ и счёта-фактуры. Все документы были загружены в систему в исходном формате – PDF, Word, сканы с низким разрешением.

Система автоматически распознавала тип документа, извлекала 15 ключевых полей (номер, дата, ИНН, наименование товара, количество, цена, сумма), проводила логическую валидацию (например, проверка: $\text{сумма} = \text{количество} \times \text{цена}$) и выдавала результат в виде структурированного JSON, который импортировался в программу 1С через CSV-файл.

До введения системы в компании преобладал ручной ввод в 1С, выполняемый 300 сотрудниками. После чего обработкой документов занималась уже сама система, автоматически анализируя до 85% документов, и только 15% направлялись на ручную проверку.

Был взят объём выборки 12 087 документов, представляющих 2,4% месячного потока.

Точность измерялась по двум параметрам: классификация (правильно ли определён тип документа) и извлечение (правильно ли извлечены все поля).

Экономический эффект рассчитывался по трём компонентам: сокращение трудозатрат, снижение ошибок и устранение потерь документов.

Результаты эксперимента оказались следующими: система обработала 12 087 документов за 8 недель без сбоев, точность классификации составила 95,6%

– из 12 087 документов только 548 были отнесены к неверному типу. Средняя точность извлечения ключевых полей – 94,3%. Наиболее часто ошибались поля, связанные с наименованием товара – в 6,8% случаев не распознавались уточнения в скобках (например, «ручки BRAUBERG (чёрные)»), однако это не влияло на основные операции – в 98% случаев система правильно определяла товар по базовому названию. Время обработки одного документа сократилось с 12 минут до 45 секунд – в 16 раз. Ошибки в суммах, датах и номерах снизились с 6,8% до 0,8% – на 88%. Потери документов – ранее составлявшие 2,5% – сократились до 0,1% благодаря автоматическому логированию всех входящих файлов. При этом 85% сотрудников, ранее занятых вводом, переведены на более ценные задачи – проверку отклонений, работу с поставщиками и анализ аномалий.

Таблица 1 – Эффективность системы по ключевым показателям

ПОКАЗАТЕЛЬ	ДО ВНЕДРЕНИЯ	ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ	ИЗМЕНЕНИЕ
Время обработки одного документа	12 мин	45 сек	↓ 94%
Точность классификации	85%	95,6%	↑ 12,5%
Точность извлечения данных	87%	94,3%	↑ 8,4%
Ошибки в данных	6,8% 	0,8%	↓ 88%

Экономический эффект рассчитан на основе реальных данных компании. Средняя зарплата сотрудника отдела закупок – 60 000 рублей в месяц. Освобождение 13 875 человеко-часов в месяц эквивалентно 215 полным ставкам. Экономия на зарплате получается:

$$215 \times 60\,000 = 12\,900\,000 \text{ руб./мес.}$$

Снижение ошибок позволило избежать:

1. переплат поставщикам – 2,1 млн руб./мес,
2. штрафов за несвоевременные акты – 1,3 млн руб./мес,
3. повторных заказов из-за потерь – 2,0 млн руб./мес.

Экономия на ошибках в таком случае вышла 5 400 000 руб./мес. Суммарная экономия составила:

$$12\,900\,000 + 5\,400\,000 = 18\,300\,000 \text{ руб./мес.}$$

Расчёт стоимости разработки и внедрения системы показал 42 000 рублей (разработка, сервер, настройка, обучение). Срок окупаемости:

$$42\,000 \div 18\,300\,000 \times 30 = 0,07 \text{ дня} \sim 1,7 \text{ часа}$$

Если учитывать только трудозатраты – окупаемость за 1,4 дня. При этом система работает 24/7, масштабируется на более 1000 поставщиков и не требует дополнительных затрат.

Результаты подтверждают, что система на основе регулярных выражений и контекстной логики значительно преобразует бизнес-процесс. В отличие от RPA, которая ломается при изменении шаблона, или ML, требующей переобучения, система адаптируется за 15 минут.

Практическое внедрение системы в ООО «Офисмаг» показало, что в условиях крупного бизнеса правила, основанные на семантической логике, обеспечивают более высокую устойчивость, воспроизводимость и экономическую эффективность по сравнению с комплексными системами, требующими интенсивной настройки и обучения. Результатом работы стал метод, с помощью которого удалось получить точность выполнения 94,3%, снижение времени обработки на 94%, устранение потерь на 96% и экономия 18,3 млн рублей в месяц.

Список литературы

1. Бордюжа, О. Л. Внедрение ERP-систем на предприятиях электронной промышленности / О. Л. Бордюжа, В. Г. Горбунов // Цифровизация: новые тренды и опыт внедрения : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – Стерлитамак, 2023. – С. 43–48.

2. Ерискина Е. В., Курушин Д. С., Яруллин Д. В., Корюкин Д. Ю. Объектно-ориентированная модель морфологического анализатора русскоязычного текста // ИВД. 2018. №4 (51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obektno-orientirovannaya-model-morfologicheskogo-analizatora-russkoyazychnogo-teksta> (дата обращения: 13.10.2025).

3. Нуриев М. Г., Белашова Е. С., Барабаш К. А. КОНВЕРТЕР MARKDOWN-ФАЙЛОВ В LATEX-ДОКУМЕНТ // Программные системы и вычислительные методы. 2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konverter-markdown-faylov-v-latex-dokument> (дата обращения: 13.10.2025).

4. Прокина Е. Ю. АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ // Контентус. 2022. №6 (119). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-biznes-protsessov-1> (дата обращения: 14.10.2025).

5. Мягкова, Ю. Ю., Южакова, О. А. Управление финансовыми рисками : 3-е изд., перераб. и доп. : учебник и практикум для вузов / Ю. Ю. Мягкова, О. А. Южакова. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 583 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-18731-1. – Текст: электронный // ЛитРес [сайт]. – URL: <https://www.litres.ru/book/aleksandr-arhipov-89/upravlenie-finansovymi-riskami-3-e-izd-per-i-dop-uche-70842013/> (дата обращения: 14.10.2025).

6. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron / I. I. Vintzenko, V. I. Guselnikov, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2003. – Vol. 29, № 4. – P. 294–296.

7. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров / А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко, А. В. Полуэктов // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лесного форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛТУ. – Воронеж, 2025. – С. 773–785.

8. Цифровая обработка сигналов при автоматизированных испытаниях сильноточных шунтов / А. И. Заревич // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – № 6 (186). – С. 103–108.

9. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex / A. Poluektov, T. Skvortsova, E. Anikeev, A. Yagodkin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.

References

1. Bordyuzha, O. L. Implementation of ERP systems at enterprises of the electronics industry / O. L. Bordyuzha, V. G. Gorbunov // Digitalization: new trends and implementation experience: a collection of articles following the results of the International scientific and practical conference. - Sterlitamak, 2023. - Pp. 43-48.

2. Eriskina E. V., Kurushin D. S., Yarullin D. V., Koryukin D. Yu. Object-oriented model of a morphological analyzer of Russian-language text // IVD. 2018. No. 4 (51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obektno-orientirovannaya-model-morfologicheskogo-analizatora-russkoyazychnogo-teksta> (date of access: 13.10.2025).

3. M. G. Nuriev, E. S. Belashova, K. A. Barabash. MARKDOWN FILE TO LATEX DOCUMENT CONVERTER // Software Systems and Computational Methods. 2023. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konverter-markdown-faylov-v-latex-dokument> (Accessed: 13.10.2025).

4. E. Yu. Prokina, BUSINESS PROCESS AUTOMATION // Content. 2022. No. 6 (119). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-biznes-protssessov-1> (Accessed: 14.10.2025).

5. Myagkova, Yu. Yu., Yuzhakova, O. A. Financial Risk Management: 3rd ed., revised and enlarged: textbook and practical training for universities / Yu. Yu. Myagkova, O. A. Yuzhakova. - Moscow: Yurait Publishing House, 2024. - 583 p. - (Higher education). - ISBN 978-5-534-18731-1. - Text: electronic // LitRes [website]. - URL: <https://www.litres.ru/book/aleksandr-arhipov-89/upravlenie-finansovymi-riskami-3-e-izd-per-i-dop-uche-70842013/> (accessed: 14.10.2025).

6. Effect of the external coupling of cavities on the stability and output power of a relativistic magnetron / I. I. Vintzenko, V. I. Guselnikov, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2003. - Vol. 29, № 4. - P. 294–296.

7. Big data synthesis and class imbalance correction to improve a forest fire classification model / A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, A. V. Poluektov // Forestry in the context of global challenges: new paradigms for sustainable development. Forestry – 2025: Proceedings of the International Forestry Forum, dedicated to the celebration of the 95th anniversary of VSUFT. – Voronezh, 2025. – P. 773–785.

8. Digital signal processing in automated testing of high-current shunts / A. I. Zarevich // Scientific and technical statements of St. Petersburg State Polytechnical University. Computer science. Telecommunications. Management. - 2013. - No. 6 (186). - P. 103-108.

9. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex / A. Poluektov, P. Skvortsova, E. Anikeev, A. Yagodkin // BIO Web of Conferences. – 2024. - Vol. 145. - P. 04022. - DOI 10.1051/bioconf/202414504022. THE YJLKEE.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАБОТЫ С ДАННЫМИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

О.Л. Бордюжа¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В современных условиях цифровой трансформации образования возрастает потребность в автоматизации административных и педагогических процессов. На рынке представлено множество решений для управления образовательными данными, однако специализированные системы для центров цифрового образования детей, таких как IT - Cube, остаются недостаточно развитыми. Информационная система «Куб.Журнал» предназначена для ведения персональных данных обучающихся, управления учебными группами (включая архивные), а также формирования электронного журнала посещаемости и успеваемости с разбивкой по месяцам и группам. Система обеспечивает оперативный доступ методистам, педагогам и администраторам к актуальной информации, повышает точность учёта и упрощает подготовку отчётности.

Ключевые слова: информационная система, электронный журнал, учёт обучающихся, автоматизация образования, посещаемость, успеваемость.

AN INFORMATION SYSTEM FOR AUTOMATIZING DATA MANAGEMENT IN THE EDUCATIONAL PROCESS

O.L. Bordyuzha¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. In the current context of the digital transformation of education, the need to automate administrative and pedagogical processes is growing. Numerous educational data management solutions are available on the market, but specialized systems for children's digital education centers, such as IT-Cube, remain underdeveloped. The "Cube.Journal" information system is designed to maintain student personal data, manage study groups (including archived ones), and generate an electronic attendance and academic performance log, broken down by month and group. The system provides methodologists, teachers, and administrators with immediate access to up-to-date information, improves record-keeping accuracy, and simplifies reporting.

Keywords: information system, electronic journal, student records, educational automation, attendance, academic performance.

Введение

Цифровизация сферы дополнительного образования детей активно развивается в Российской Федерации в рамках национального проекта «Образование» [1]. Ключевым направлением является создание сети центров «IT-Cube», ориентированных на обучение школьников современным IT-компетенциям [1].

На текущий момент ведение документации в таких центрах зачастую осуществляется с использованием разрозненных инструментов (электронные таблицы, текстовые процессоры), что приводит к увеличению временных затрат персонала и росту вероятности ошибок при обработке данных. Согласно исследованиям, автоматизация рутинных операций в образовании способна высвободить до 30% рабочего времени педагогов [2].

С целью автоматизации данного процесса разработана специализированная информационная система «Куб.Журнал», адаптированная под специфику работы центров цифрового образования и обеспечивающая комплексную автоматизацию процессов учёта обучающихся.

Предложена модель информационной системы, полностью адаптированная под специфику IT-Cube. реализован оригинальный механизм управления жизненным циклом учебных групп с сохранением исторических данных – аналогов в открытых источниках не выявлено. Интегрированы требования ФЗ-152 в архитектуру локального образовательного решения, что редко встречается на уровне региональных проектов.

Сравнение с конкурентами

В ходе анализа методов и средств автоматизации учёта в образовании выявлены следующие недостатки:

- жёсткая привязка к структуре общеобразовательного процесса;
- ограниченные возможности ведения электронного журнала;
- проблемы с отчётностью и интеграцией;
- технологические и организационные ограничения.

Информационная система «Куб.Журнал» реализована как desktop-приложение на языке C# (.NET Framework 4.7.2) с использованием технологии WPF (Windows Presentation Foundation). Архитектура приложения построена по модульному принципу с использованием контейнера MDI (Multiple Document

Interface), где каждый функциональный блок (журнал, список студентов, настройки) открывается в независимом плавающем окне внутри основного рабочего пространства. В качестве СУБД используется Microsoft SQL Server (LocalDB), что обеспечивает простоту развертывания без необходимости администрирования серверного кластера [3].

Реализован механизм «плавающих окон» (DraggableWindowPanel) внутри основного контейнера, что позволяет педагогу гибко настраивать рабочую область под текущие задачи: например, открыть слева список группы, а справа – электронный журнал для переноса данных. Панель навигации обеспечивает быстрый доступ к модулям в зависимости от роли пользователя, скрывая административные функции от рядовых сотрудников.

Структура клиентского приложения

Клиентское приложение разбито на несколько экранных форм и диалоговых окон, которые связаны между собой. Каждая такая форма отвечает за свой отдельный бизнес-процесс. В основе всей системы – реляционная база данных, приведённая к третьей нормальной форме (3NF).

Мы сделали механизм, который отслеживает сдачу документов – заявления, согласия, справки – через обычные бинарные флаги (да/нет). Добавили также поле «Место основного обучения», чтобы потом можно было анализировать, сколько школ охвачено. Когда отображается страница журнала (смотрим Рисунок 11), система прямо во время работы программы (в рантайме) строит столбцы таблицы DataGrid на основе множества данных $T(g)$. Благодаря этому журнал легко подстраивается под переносы занятий, праздничные дни и всякие интенсивы.

Чтобы упростить документооборот и дать сотрудникам быстрый доступ к нормативной базе, в систему встроили файловый менеджер (он называется DocumentManagerView).

Управление доступом

В архитектуру «Куб.Журнала» заложена ролевая модель управления доступом (Role-Based Access Control – RBAC). Это очень важно для сохранности данных и для того, чтобы разграничить зоны ответственности между сотрудниками – педагогами и методистами [4]. Интерфейс при этом динамически подстраивается под роль пользователя: кто зашёл, тот и видит, что ему положено. Происходит это в момент открытия главного окна.

Заключение

Разработка и внедрение «Куб.Журнала» – это продуманный ответ на вызовы цифровой трансформации в сфере дополнительного образования. По предварительным прикидкам, система позволяет сократить трудозатраты методистов, педагогов и администраторов на 40–60%. За счёт чего? Автоматизируются рутинные операции: ведение журналов, формирование отчётности, управление архивными группами, поиск данных. Плюс отказ от ручного ввода в электронные таблицы практически исключает риск человеческих ошибок. А это напрямую повышает достоверность и актуальность данных – а такое требование ключевое при общении с региональными и федеральными органами управления образованием.

Немаловажен и аспект соблюдения закона. База данных хранится локально, на сервере самой образовательной организации, плюс используется промышленный стандарт шифрования AES в режиме CBC. Всё вместе даёт полное соответствие Федеральному закону №152-ФЗ «О персональных данных».

Список литературы

1. Горбунов, В. Г. Сравнительный анализ методов «Прометей» и нечетких отношений в условиях принятия решений / В. Г. Горбунов, О. Л. Бордюжа, А. А. Пак // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 42-56. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-42-56. – EDN LSMBMD.
2. Крупа, Т. В. Организация дополнительного образования школьников в цифровой среде: обзор исследований/ Т.В. Крупа, А.А. Лебедев, А.С. Обухов // Вестник МГПУ. Серия: Педагогика и психология. 2021. №3 (57).
3. Бордюжа, О.Л. Автоматизация обработки входящей бизнес-документации с помощью регулярных выражений контекстной логики / О.Л. Бордюжа, О.В. Оксюта // Твердотельная электроника, микроэлектроника и наноэлектроника. Межвузовский сборник научных трудов. Воронеж, 2025. С. 40-44.
4. Горбунов, В.Г. Управление качеством учебного процесса. / В.Г. Горбунов, О.Л. Бордюжа, В.В. Лавлинский, Д.В. Байбеков // Моделирование систем и процессов. 2023. Т. 16. № 2. С. 14-25., DOI: 10.12737/2219-0767-2023-16-2-14-25.

References

1. Gorbunov, V. G. Comparative Analysis of Prometheus Methods and Fuzzy Relationships in Decision-Making / V. G. Gorbunov, O. L. Bordyuzha, A. A. Pak // Modeling of Systems and Processes. - 2024. - Vol. 17, No. 1. - Pp. 42-56. - DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-42-56. - EDN LSMBMD.

2. Krupa, T. V. Organization of Supplementary Education for Schoolchildren in the Digital Environment: A Research Review / T. V. Krupa, A. A. Lebedev, A. S. Obukhov // Bulletin of Moscow State Pedagogical Univ. Series: Pedagogy and Psychology. 2021. No. 3 (57).

3. Bordyuzha, O. L. Automation of Incoming Business Documentation Processing Using Regular Expressions of Context Logic / O.L. Bordyuzha, O.V. Oksyuta // Solid-State Electronics, Microelectronics, and Nanoelectronics. Interuniversity Collection of Scientific Papers. Voronezh, 2025. Pp. 40-44.

4. Gorbunov, V.G. Educational Process Quality Management. / V.G. Gorbunov, O.L. Bordyuzha, V.V. Lavlinsky, D.V. Baibekov // Modeling of Systems and Processes. 2023. Vol. 16. No. 2. Pp. 14-25., DOI: 10.12737/2219-0767-2023-16-2-14-25.

МОДЕЛИРОВАНИЕ CI/CD И ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ РЕЛИЗА

В.Э. Буздин¹, Е.А. Аникеев¹, М.И. Лозовский¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Показано, как по логам CI/CD построить простую модель времени релиза и найти узкие места без субъективных оценок. На примере учебного проекта выделены стадии, которые дают основной вклад в задержку, и объяснено, почему 95-й перцентиль часто важнее среднего. Проанализировано влияние параллелизации тестов, кэширования сборки и сокращения ручных шагов. Приведено сравнение метрик до и после изменений.

Ключевые слова: CI/CD, пайплайн, DORA, метрики, время релиза, тестирование, автоматизация, деплой, моделирование, очереди.

CI/CD PIPELINE MODELING AND RELEASE TIME OPTIMIZATION

V.E. Buzdin¹, E.A. Anikeev¹, M.I. Lozovskii¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper shows how CI/CD logs can be transformed into a release-time model to identify bottlenecks. Using an educational project, the stages that dominate delay are measured and the importance of the 95th percentile is discussed. The effect of test parallelization, build caching, and reducing manual gates is evaluated. A before/after metric comparison is provided.

Keywords: CI/CD, pipeline, DORA, metrics, release time, testing, automation, deployment, modeling, queues.

Введение

В разработке программных систем время релиза часто ощущается как «плавающая величина»: один выпуск проходит за пару часов, другой растягивается на сутки, хотя изменения похожи. На практике релиз – это цепочка стадий, где каждая добавляет время обслуживания и время ожидания: очередь на раннер,

сборка, тесты, проверки безопасности, выкладка, ручные согласования. Если стадии не измеряются, обсуждение быстро становится субъективным: «раннеры слабые», «тесты долго», «инфраструктура тормозит». Вследствие этого решения принимаются по ощущениям, а эффект от изменений трудно доказать.

Для сравнения процессов поставки обычно используют метрики DORA: частота деплоя, lead time изменений, доля неуспешных изменений и время восстановления сервиса [1, 2]. Эти показатели отражают и скорость, и стабильность, а их совместное улучшение считается признаком зрелого процесса поставки [3]. Однако DORA-метрики не отвечают на практический вопрос: на какой стадии CI/CD теряется время и почему именно хвост распределения раздражает сильнее среднего значения.

Цель исследования - построить модель времени релиза по реальным измерениям CI/CD и проверить, какие изменения дают максимальный выигрыш по lead time при сохранении качества. В качестве объекта рассмотрен учебный проект с типовой схемой: контейнерная сборка, тесты, статический анализ, деплой в staging и production. Материал ориентирован на прикладное использование: важно не только ускорить пайплайн, но и получить выпуск, который предсказуем по времени и не провоцирует рост отказов.

Метрики и исходные данные

Данные мы брали из логов CI-системы и хранилища артефактов. Смотрели 30 календарных дней, всего 412 запусков. Для каждого запуска записывали: сколько времени простоял в очереди, как долго длилась каждая стадия, чем всё кончилось (успех или нет), сколько было повторных прогонов, какой объём артефактов, а ещё – требовалось ли ручное подтверждение и когда случился деплой в production.

Чтобы связать пайплайн с релизом, использовали два уровня метрик.

Первый уровень – метрики поставки, известные как DORA. Lead time (время от идеи до релиза) мы мерили от момента, когда код влили в основную ветку, до деплоя в production. Частота деплоев – сколько раз в сутки выкатываем. Доля неуспешных изменений – процент релизов, которые закончились откатом или инцидентом. Время восстановления – сколько прошло от срабатывания алерта до того, как метрики вернулись в норму [1]. Тут важно: если пайплайн упал на тестах, мы считали это проблемой качества разработки, но в change failure rate (долю неуспешных изменений) такое не включали, пока production не затронут.

Второй уровень – метрики внутри самого пайплайна. Это суммарное время стадии (service time) и время ожидания перед её началом (queue time). Для каждой стадии считали среднее, медиану и 95-й перцентиль. 95-й перцентиль особенно полезен – он показывает редкие, но болезненные случаи. Релиз может быть «в среднем быстрым», но раз в несколько дней зависать на час из-за очереди или ручного шага. Отдельно записывали, почему случалась неудача: тесты упали, ошибка окружения (контейнеры, сеть), проблемы сборки или публикации артефактов. Повторные прогоны учитывали как отдельную добавку R , чтобы видеть, сколько времени уходит на «перезапуски ради удачи».

Модель времени релиза

Пайплайн представили как последовательность стадий $S_1 \dots S_n$. Общее время релиза T разложили на сумму времени обслуживания и ожиданий: $T = \sum (\text{service\_time}_i + \text{queue\_time}_i) + R$, где R – добавка на повторы и ручные действия вне CI (например, согласование окна выкладки). Модель намеренно простая – не требует навороченной математики, но хорошо показывает структуру задержки и помогает понять, куда бить.

Для каждой стадии построили «профиль времени»: медиана, 95-й перцентиль и доля запусков с повтором. Это позволяет отличить стабильную, но долгую стадию (медиана почти равна 95%) от нестабильной, где редкие провалы сильно портят жизнь (медиана маленькая, а 95% большой). Во втором случае ускорение «по среднему» почти не поможет, потому что основной дискомфорт дают хвосты распределения – очередь на раннеры или нестабильность окружения.

Чтобы оценить влияние очередей, смотрели на стадии как на систему обслуживания. Задания (запуски) поступают, есть ограниченное число исполнителей (раннеры), из-за чего возникает ожидание. При высокой загрузке даже небольшое увеличение длительности стадий резко увеличивает queue_time и портит 95-й перцентиль. Для грубой проверки применяли закон Литтла [5]: при средней интенсивности поступления λ и среднем времени пребывания W ожидаемое число задач в системе L примерно равно λW . Это удобно, чтобы проверить здравый смысл: по логам видно, что одновременных задач стало больше, а пропускная способность не выросла.

Анализ разделяли на два потока: проверочные запуски на pull request и релизные. Проверочные пайплайны запускаются чаще и дают раннюю обратную связь разработчику, а релизные должны быть предсказуемыми. Если их смешать,

быстрые проверки улучшат среднее, а релизный хвост останется проблемой, и вы не поймёте, куда смотреть.

Стадии пайплайна и базовые измерения

В проекте были такие стадии: S1 – сборка и линт; S2 – unit-тесты; S3 – интеграционные тесты (контейнеры); S4 – статический анализ и поиск секретов; S5 – сборка образа и публикация; S6 – деплой в staging; S7 – ручное подтверждение; S8 – деплой в production и пост-проверки (health).

До оптимизации средние значения: S1 – 6 мин, S2 – 11 мин, S3 – 18 мин, S4 – 7 мин, S5 – 9 мин, S6 – 4 мин, S7 – медиана 12 мин (но 95% – 58 мин), S8 – 3 мин. По 95-му перцентилю самые тяжёлые – S3 (до 34 мин) и S7 (до 58 мин). Ожидание на раннерах в среднем добавляло 9 минут, а в пиковые часы доходило до 31 минуты – когда проверочные и релизные задачи дрались за одни и те же исполнители. Вывод: просто ускорять тесты недостаточно, если раннеры перегружены. Поэтому мы отдельно анализировали загрузку исполнителей по часам и долю времени, уходящую в ожидание.

Главный источник нестабильности – ручной шаг S7. Когда ответственный занят, ожидание подбиралось к часу. Второй по вредности – интеграционные тесты: они периодически падали из-за сетевых зависимостей и запускались заново. Доля повторов по причине «ошибка окружения» составила 9,5% от всех запусков и формировала заметную часть хвоста распределения времени релиза. Падения тестов по логике продукта случались реже и чаще выявлялись на ранних стадиях.

Оптимизация пайплайна

Меняли два направления: борьба с ожиданием и борьба с повторами. Приоритет отдавали мерам, которые улучшают не только среднее, но и хвост распределения.

Параллелизация интеграционных тестов. Разбили набор тестов на четыре группы по времени выполнения. Группы запускались параллельно на отдельных раннерах. Дополнительно выделили раннеры под «тяжёлые» контейнеры, чтобы они не конкурировали с быстрыми задачами. Это сократило стадию S3 и уменьшило очереди в пиковые часы.

Кэширование сборки и зависимостей. Для сборки и unit-тестов включили кэш пакетов и промежуточных артефактов. На повторных прогонах это снижало время S1+S2 на 30-40%. Важный эффект – короткие стадии быстрее освобождали раннеры, что уменьшало queue_time для следующих задач. Кэш настроили

так, чтобы не прятать проблемы: при изменении ключевых зависимостей делалась полная пересборка.

Стабилизация тестового окружения. Добавили проверки готовности сервисов перед стартом тестов, ограничили количество параллельных контейнеров на одном хосте и ввели «карантин» для нестабильных тестов. Их запускали отдельно и не блокировали релиз до выяснения причины. Это снизило число повторов без потери контроля качества и убрало ложные падения, когда тесты валялись не из-за кода, а из-за временных проблем сети.

Перенос части проверок «влево». Поиск секретов и часть статического анализа выполнялись в отдельном быстром пайплайне на pull request. В релизном пайплайне оставили верификацию артефакта и контроль неизменности сборки. Такой приём снижает вероятность позднего падения и ускоряет релиз при сохранении логики «проверка до production» [3].

Замена ручного подтверждения на правило. Ручной шаг S7 оставили только для изменений, затрагивающих миграции базы данных или критические конфигурации. Для остальных релизов сделали автоматическое окно деплоя и проверку health-метрик после выкладки (упрощённый canary-подход). Главная цель – убрать случайность ожидания и сделать выпуск предсказуемым.

Результаты

После изменений собрали аналогичную выборку за 30 дней (398 запусков). Сравнение метрик поставки:

- средний lead time снизился с 11 ч 40 мин до 6 ч 05 мин;
- 95-й перцентиль – с 28 часов до 14 часов;
- частота деплоев выросла с 1,1 до 2,3 деплоя в сутки;
- доля неуспешных изменений упала с 7,4% до 5,1%;
- время восстановления сократилось с 46 до 32 минут.

Время восстановления улучшилось потому, что релизы стали меньше по размеру и чаще, откаты выполнялись быстрее (короткий цикл, автоматизированная процедура, меньше изменений в каждом релизе).

Длительности стадий изменились: S1 – 6→4 мин, S2 – 11→8 мин, S3 – 18→10 мин, S4 – 7→6 мин, S5 – 9→8 мин, S6 – 4→4 мин, S7 (медиана) – 12→3 мин (95% с 58 до 12), S8 – 3→3 мин. Доля повторных прогонов из-за ошибок окружения снизилась с 9,5% до 3,2%. Это напрямую повлияло на хвосты lead time – редкие долгие релизы стали случаться заметно реже.

Мы специально проверяли, что ускорение достигнуто не за счёт отказа от контроля. Часть проверок перенесли на ранний этап, но не удалили. Ошибки по секретам и стилю кода по-прежнему находятся, просто раньше [5, 6]. Стало меньше ситуаций, когда выпуск уже собран, а потом блокируется поздней проверкой. И снизилась нагрузка на сопровождение – меньше ожиданий ответа.

Обсуждение

Построенная модель перевела разговоры о релизе в измеримые величины. Если растёт очередь на раннерах – это видно по `queue_time`, и вы отличаете это от ситуации, когда тесты стали дольше после изменения кода. Если появляются повторы – их вклад считается отдельно и не тонет в общей статистике. Для учебного проекта этого хватило, чтобы выбрать несколько действий с наибольшим эффектом без долгих споров.

Для практики важна регулярность измерений. Метрики по стадиям удобно выводить на дашборд в виде медианы и 95-го перцентиля за неделю, а также доли повторов по каждому типу причин. Когда 95-й перцентиль ухудшается, быстро выясняешь, что именно изменилось: очередь на раннерах, сбои тестового окружения или одна конкретная стадия замедлилась. Такой мониторинг работает как раннее предупреждение – деградацию видно до того, как команда начинает субъективно «чувствовать» задержки.

Ограничения модели связаны с её простотой. Мы не учитывали ветвления пайплайна, зависимость длительности от размера изменения, эффект одновременных релизов в разные окружения. Тем не менее ключевые решения были приняты корректно, потому что самые большие задержки создавали не тонкие детали, а грубые факторы: нехватка вычислителей, нестабильное окружение и ручные блокировки. В итоге даже простая модель дала заметный выигрыш по `lead time` и предсказуемости релиза, а её поддержка не требует сложной аналитики.

Заключение

Мы показали, что время релиза можно разложить на измеримые части и улучшать его точечными изменениями. На данных CI/CD-пайплайна нашли два ключевых источника задержки – ожидание ручного подтверждения и повторы интеграционных тестов. Параллельный запуск тестов, кэширование и перенос части проверок на `pull request` сократили средний `lead time` почти вдвое при одновременном снижении доли неуспешных изменений. Модель стала практичным

инструментом: по ней видно, где теряется время и какие улучшения дают максимальный эффект без потери качества.

Список литературы

1. Назарова, О. Б. Моделирование бизнес-процессов : учебное пособие / О. Б. Назарова, О. Е. Масленникова. – 3-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА, 2023. – 261 с. – ISBN 978-5-9765-3700-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/348278> (дата обращения: 20.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Херинг, М. DevOps для современного предприятия : учебное пособие / М. Херинг ; перевод с английского М. А. Райтмана.. – Москва : ДМК Пресс, 2020. – 232 с. – ISBN 978-5-97060-836-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/140580> (дата обращения: 20.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Турнецкая, Е. Л. Программная инженерия. Тестирование и контроль качества программного обеспечения : учебное пособие для вузов / Е. Л. Турнецкая, А. В. Аграновский. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 172 с. – ISBN 978-5-507-51677-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/455672> (дата обращения: 20.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Моделирование систем и процессов. Практический курс : учебник для вузов / под редакцией В. Н. Волковой. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 295 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-01442-6. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/561270> (дата обращения: 01.02.2026).

5. Баланов, А. Н. DevOps: интеграция и автоматизация : учебное пособие для СПО / А. Н. Баланов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 68 с. – ISBN 978-5-507-54085-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/505387> (дата обращения: 20.02.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Минакова, О. В. Повышение эффективности работы в проектах open source на основе архитектурного анализа (на примере проекта Сахана) / О. В. Минакова, И. В. Поцбенева, П. Ю. Гусев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 84-92. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-84-92. – EDN NZNSKM.

References

1. Nazarova O. B. Modeling of business processes : a textbook / O. B. Nazarova, O. E. Maslennikova. – 3rd ed., ster. – Moscow : FLINT, 2023. – 261 p. – ISBN 978-5-9765-3700-2. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/348278> (date of request: 02/20/2026). – Access mode: for authorization. users.
2. Hering, M. DevOps for a modern enterprise: a textbook / M. Hering ; translated from English by M. A. Reitman.. – Moscow : DMK Press, 2020. - 232 p. – ISBN 978-5-97060-836-4. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/140580> (date of request: 02/20/2026). – Access mode: for authorization. users.
3. Turnetskaya, E. L. Software engineering. Software testing and quality control : a textbook for universities / E. L. Turnetskaya, A.V. Agranovsky. – Saint Petersburg : Lan, 2025. – 172 p. – ISBN 978-5-507-51677-3. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/455672> (date of request: 02/20/2026). – Access mode: for authorization. users.
4. Modeling of systems and processes. Practical course : textbook for universities / edited by V. N. Volkova. Moscow : Yurait Publishing House, 2025. 295 p. (Higher education). – ISBN 978-5-534-01442-6. – Text : electronic // Yurayt educational platform [website]. – URL: <https://urait.ru/bcode/561270> (date of request: 02/01/2026).
5. Balanov, A. N. DevOps: integration and automation : a textbook for PDF / A. N. Balanov. – 2nd ed., erased. – Saint Petersburg : Lan, 2025. – 68 p. – ISBN 978-5-507-54085-3. – Text : electronic // Lan : electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/505387> (date of request: 02/20/2026). – Access mode: for authorization. users.
6. Minakova O. V., Potsebneva I. V., Gusev P. Yu. Improving the efficiency of work in open source projects based on architectural analysis (using the example of the Sakhan project) // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 84-92. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-84-92. – EDN NZNSKM.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ: ВОЗМОЖНОСТИ, РИСКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В.С. Врагов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые направления применения нейросетевых технологий в образовании: персонализированное обучение, диалоговые ИИ-помощники, аналитические системы мониторинга и цифровые инструменты поддержки преподавателей, языкового и инклюзивного образования. Кратко анализируются основные риски, связанные с подменой самостоятельной учебной деятельности генеративными моделями, усилением образовательного неравенства и угрозами конфиденциальности данных, а также намечаются условия ответственной интеграции ИИ в образовательную среду. Ключевые слова: искусственный интеллект, нейросети, образование, персонализированное обучение, образовательная аналитика, академическая честность, инклюзивное образование.

USING NEURAL NETWORKS IN MODERN EDUCATION: OPPORTUNITIES, RISKS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

V.S. Vragov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article examines the key areas of applying neural network technologies in education: personalized learning, dialogue-based AI assistants, analytical monitoring systems, and digital tools that support teachers, language learning, and inclusive education. It briefly analyzes the main risks associated with replacing independent learning activities by generative models, deepening educational inequality, and threats to data privacy, and outlines the conditions for the responsible integration of AI into the educational environment.

Keywords: artificial intelligence, neural networks, education, personalized learning, educational analytics, academic integrity, inclusive education.

Введение

За последние годы нейросети из узкоспециализированного инструмента превратились в заметный фактор развития медицины, промышленности, сферы услуг и, особенно, образования. В этой сфере от технологических новшеств зависит не только организация учебного процесса, но и то, как формируются знания, навыки и ценности у будущих специалистов.

В этих условиях требуется трезвый анализ. Важно понять, какие задачи уже решают нейросети в образовании, насколько широко они применяются, какие преимущества и кому дают и с какими рисками связаны. Также необходимо оценить, как дальнейшее развитие ИИ может повлиять на структуру образовательных программ и роль преподавателя.

В дальнейшем тексте в разделе «Основной текст» рассматриваются ключевые направления применения нейросетей в образовании и основные риски. В разделе «Статистика» обобщаются данные исследований и аналитических отчётов о реальном масштабе внедрения ИИ. В «Заключении» подводятся итоги и намечаются возможные пути дальнейшего развития.

Инструменты ИИ в образовании: от персонализации до инклюзии

Использование нейросетей в образовании нельзя свести к одному приложению или платформе. Речь идёт о наборе технологий, которые встраиваются в учебный процесс на разных уровнях: от индивидуальной работы ученика с цифровым помощником до управленческой аналитики на уровне учебного заведения. Наиболее заметные направления – персонализация обучения, диалоговые помощники, аналитические системы, инструменты поддержки преподавателей, языковое и инклюзивное образование.

Персонализированное обучение – один из главных эффектов внедрения ИИ. Традиционно массовое образование ориентировалось на “среднего” ученика: общая программа, единый темп, стандартные задания. Индивидуальные различия компенсировались, в лучшем случае, дополнительными занятиями. Нейросетевые алгоритмы, анализирующие успеваемость, время выполнения заданий, характер ошибок и активность в электронной среде, позволяют подстраивать учебный маршрут под конкретного человека.

Адаптивные платформы разбивают курс на небольшие модули и следят за тем, как ученик с ними справляется. Если система видит, что на определённом типе задач возрастает количество ошибок, она предлагает дополнительные объ-

яснения и упражнения, возвращает к базовым темам или замедляет темп. Для хорошо подготовленных учащихся возможен ускоренный переход к более сложному материалу. В результате один и тот же курс фактически превращается в совокупность индивидуальных траекторий.

Диалоговые помощники и виртуальные репетиторы стали ещё одним заметным проявлением ИИ в образовании. В отличие от статичных учебников и справочников, такие системы поддерживают общение на естественном языке: студент может просить объяснить тему проще, привести пример, разобрать собственное решение задачи. При грамотной настройке ИИ не просто выдаёт ответ, а ведёт учащегося через последовательность шагов, фиксируя, на каком этапе допущена ошибка. В условиях нехватки живых репетиторов и ограниченного времени преподавателя это реальная возможность расширить доступ к индивидуализированной поддержке.

Нейросети активно применяются и в аналитике образовательного процесса. Электронные журналы, системы дистанционного обучения и онлайн-курсы генерируют большие массивы данных, которые раньше не использовались системно. Алгоритмы машинного обучения позволяют по этим данным выявлять учащихся группы риска, прогнозировать вероятность отчисления, отслеживать влияние изменений в программе на результаты. Некоторые университеты уже внедрили системы раннего предупреждения, которые сигнализируют кураторам о необходимости вмешательства задолго до формального провала по предмету.

Та же аналитика помогает корректировать содержание курсов. Если статистика показывает, что большинство студентов регулярно испытывает трудности с конкретным модулем, это повод пересмотреть его структуру, примеры и методику. Если задания оказываются слишком лёгкими, материал можно усложнить. Таким образом, ИИ становится инструментом обратной связи не только для студента, но и для преподавателя.

Значительную часть изменений нейросети приносят в повседневную работу преподавателя. Подготовка заданий, тестов, кейсов, пояснительных материалов занимает много времени. Генеративные модели позволяют автоматизировать начальный этап: по краткому описанию темы и уровня система предлагает варианты задач и вопросов, которые затем отбираются и дорабатываются преподавателем. Это не снимает ответственности за качество, но снижает объём рутинной работы.

Параллельно ИИ влияет и на содержание образования. В школьных и вузовских программах появляются темы, связанные с основами искусственного интеллекта, анализом данных, этикой алгоритмов. Базовое понимание того, как работают такие системы и в чём их ограничения, постепенно становится частью современной цифровой грамотности.

Однако расширение использования нейросетей сопровождается и серьёзными рисками. Первый из них – подмена учебного труда автоматической генерацией ответов. Возможность за секунды получить текст сочинения или решение задачи подталкивает часть учащихся к тому, чтобы минимизировать собственное участие. Особенно остро эта проблема проявляется там, где оценивание опирается только на конечный письменный продукт. В ответ образовательные организации вынуждены пересматривать формы заданий и контроля: увеличивать долю проектных работ, устных форматов и заданий, которые выполняются в присутствии преподавателя.

Второй серьёзный вызов – неравномерный доступ к ИИ-инструментам. Богатые школы и университеты могут внедрять сложные платформы и обучать персонал, тогда как учреждения в менее обеспеченных регионах ограничены базовыми ресурсами. В результате технологический разрыв способен перерасти в новый виток образовательного неравенства.

Наконец, остроту приобретают вопросы конфиденциальности и этики обращения с данными. Для работы адаптивных систем требуется накопление детализированной информации об учебной активности, а нередко и о социальном фоне учащихся. Ошибки при хранении и использовании этих данных, их утечки или коммерциализация могут иметь серьёзные последствия и подорвать доверие к цифровым решениям в целом. Поэтому обсуждение ИИ в образовании неизбежно включает тему правовых и организационных гарантий.

Заключение

Современный этап внедрения нейросетей в образование сочетает быстрый рост практических применений с активной переоценкой роли технологий в учебном процессе. Уже сегодня видно, что ИИ способен сделать обучение более гибким и персонализированным, облегчить рутинную работу преподавателей, расширить доступ к качественным ресурсам – особенно в языковом и инклюзивном образовании. В то же время очевидны риски: подмена самостоятельной работы генерацией ответов, рост образовательного неравенства, угрозы конфиденциальности.

Опыт показывает, что решающим становится не сам факт использования ИИ, а то, как именно он встроен в педагогическую практику. Там, где нейросети применяются как вспомогательный инструмент, поддерживающий осмысленную активность учащегося и усиливающий возможности преподавателя, эффект, как правило, позитивен. Там же, где ИИ превращается в источник «готовых решений» и средство экономии на живом общении, он лишь обостряет существующие проблемы.

В ближайшие годы можно ожидать дальнейшего развития алгоритмов, роста прозрачности и объяснимости систем, расширения сегмента адаптивных и модульных программ. Одновременно будет усиливаться потребность в формировании культуры ответственного использования ИИ: критическом отношении к результатам, понимании границ автоматизации, уважении к личным данным.

Ключевым условием успешной интеграции нейросетей остаётся сохранение центральной роли человека в образовании. Живое общение, педагогическая интуиция, умение видеть за цифрами и показателями конкретного учащегося не могут быть полностью переданы алгоритмам. Если ИИ станет инструментом расширения возможностей учителя и ученика, а не заменой их усилий, он способен стать важным ресурсом обновления образования. Если же решения будут приниматься исключительно из соображений технологического энтузиазма или экономии, существует риск усиления старых и появления новых форм неравенства и отчуждения.

Список литературы

1. Baker R. S., Inventado P. S. Интеллектуальный анализ образовательных данных и образовательная аналитика // *Learning Analytics*. – Springer, 2014. – С. 61–75.
2. Chen L., Chen P., Lin Z. Искусственный интеллект в образовании: обзор // *IEEE Access*. – 2020. – Т. 8. – С. 75264–75278.
3. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Искусственный интеллект в образовании: обещания и последствия для преподавания и обучения. – Center for Curriculum Redesign, 2019.
4. Luckin R. и др. Освобождённый интеллект: аргументы в пользу использования ИИ в образовании. – Pearson, 2016.
5. OECD. Цифровое образование: прогноз 2023. Расширение границ с помощью ИИ, блокчейна и роботов. – Париж: OECD Publishing, 2023.

6. Russell S., Norvig P. Искусственный интеллект: современный подход. 4-е изд. – Pearson, 2020.
7. UNESCO. Искусственный интеллект в образовании: вызовы и возможности для устойчивого развития. – Париж: UNESCO, 2019.
8. Woolf B. P. Построение интеллектуальных интерактивных репетиторов: студентоцентрированные стратегии революции в e-learning. – Morgan Kaufmann, 2009.
9. Zawacki-Richter O. и др. Систематический обзор исследований по применению искусственного интеллекта в высшем образовании: где же преподаватели? // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019. – Т. 16. – Ст. 39.
10. Мальцев, В. В. Применение алгоритмов искусственного интеллекта для мониторинга загрязнения воздуха городским автотранспортом / В. В. Мальцев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 86-96. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-86-96. – EDN EEZDKJ.
11. Пескова Н. С., Шагиев Р. М. Искусственный интеллект в образовании: модели и практики применения // Вопросы образования. – 2021. – № 2. – С. 95–118.

References

1. Baker, R. S., Inventado, P. S. Educational Data Mining and Learning Analytics // Learning Analytics. – Springer, 2014. – P. 61–75.
2. Chen, L., Chen, P., Lin, Z. Artificial Intelligence in Education: A Review // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 75264–75278.
3. Holmes, W., Bialik, M., Fadel, C. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. – Center for Curriculum Redesign, 2019.
4. Luckin, R. et al. Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. – Pearson, 2016.
5. Maltsev, V. V. Application of Artificial Intelligence Algorithms for Monitoring Urban Air Pollution Caused by Motor Vehicles / V. V. Maltsev // Modeling of Systems and Processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – P. 86–96. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-86-96. – EDN EEZDKJ.
6. OECD. Digital Education Outlook 2023: Pushing the Frontiers with AI, Blockchain and Robots. – Paris: OECD Publishing, 2023.

7. Peskova, N. S., Shagiev, R. M. Artificial Intelligence in Education: Models and Practices of Implementation // Voprosy obrazovaniya (Educational Studies Moscow). – 2021. – No. 2. – P. 95–118.
8. Russell, S., Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. – Pearson, 2020.
9. UNESCO. Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities for Sustainable Development. – Paris: UNESCO, 2019.
10. Woolf, B. P. Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing E-Learning. – Morgan Kaufmann, 2009.
11. Zawacki-Richter, O. et al. Systematic Review of Research on Artificial Intelligence Applications in Higher Education – Where Are the Educators? // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019. – Vol. 16. – Article 39.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПАССИВНОГО ОСМОТРА В ИНТЕРАКТИВНЫЙ КВЕСТ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИГРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ МУЗЕЯ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОЙ ПЛАТФОРМЫ

С.А. Врагов¹, М.С. Ступниченко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье описывается решение проблемы привлечения молодежи в классические музеи, с помощью использования современных технологий и разработки интерактивных сценариев (формат взаимодействия с посетителями – интерактивные квесты). Проанализированы потребности как посетителей, так и представителей отрасли, приведен пример архитектуры реализации гибридной платформы. Сделаны выводы об ожидаемом эффекте от внедрения подобной системы, включая рост популярности музея и возможности для неформального образования.

Ключевые слова: гибридная платформа, геймификация, интерактивные квесты, пользовательский опыт, неформальное образование.

TRANSFORMATION OF PASSIVE EXAMINATION INTO AN INTERACTIVE QUEST: DESIGN OF A GAME ECOSYSTEM OF A MUSEUM BASED ON A HYBRID PLATFORM

S.A. Vragov¹, M.S. Stupnichenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article describes a solution to the problem of attracting young people to classical museums, using modern technologies and developing interactive scenarios (interactive quests as a format for interaction with visitors). The article concludes that the implementation of such a system will have the expected effect, including increased museum popularity and opportunities for informal education.

Keywords: hybrid platform, gamification, interactive quests, user experience, and informal education.

Введение

Сейчас молодёжь всё реже ходит в классические музеи. Почему? Потому что форма подачи материала часто устарела. А людям хочется чего-то современного, интерактивного. Это не просто моё мнение – такие данные есть в официальной статистике. Например, в статье «Сравнение интересов по возрастам» от аналитического центра НАФИ (2023 год) говорится, что россияне старше 55 лет интересовались классическими музеями почти в два раза чаще, чем молодёжь. Конкретные цифры: художественные музеи – 64% у старших против 31% у молодых (18–24 лет), исторические – 53% против 22%, музеи-парки – 53% против 20%. В той же статье НАФИ прямо рекомендовал создавать интерактивные музеи и оцифровывать всё для людей до 35 лет. Потому что молодёжь предпочитает технические (33% в группе 35–44 лет) и необычные музеи (27%). ВЦИОМ тоже зафиксировал: музеи и выставки (часто с современными элементами) посещают 51% молодых людей 25–34 лет. И за 30 лет аудитория выросла в полтора раза именно за счёт креативных форматов.

Значит, цифровые элементы реально повышают интерес молодёжи к музеям.

Обзор инструментов для разработки квестов

Главная проблема при создании и цифровых, и обычных квестов – это высокая цена. Возьмём старый формат, который до сих пор встречается во многих организациях. Обычно это брошюрка с картой, где отмечены локации, и вопросами, на которые надо ответить. Такой формат стоит дорого. Почему? Нужен человек, который разработает квест с нуля – без шаблонов и готовых решений. Потом дизайн бумажной версии, печать, управление поставками. Всё это время и деньги.

Некоторые очень крупные музеи делают свои собственные цифровые решения. Это помогает охватить больше пользователей, даёт возможность интерактивно взаимодействовать с окружением. Но стоимость и время разработки вырастают в разы. Да и чтобы потом редактировать контент, нужны серьёзные технические навыки.

Гибридная платформа, о которой мы говорим в этой статье, призвана решить эти проблемы. У неё две части – программное обеспечение для оператора и для посетителя. Для конечных пользователей она остаётся удобной, а для сотрудников музея (операторов) тоже улучшает опыт использования. Платформа даёт готовый дизайн, шаблоны квестов, возможность анализировать статистику.

И всё это существенно удешевляет разработку. Получается, что единая гибридная платформа становится основой для настоящего переворота в музеях. Вместо классического осмотра экспозиции – система неформального образования с элементами геймификации. И всё это благодаря простому и быстрому созданию интерактивных квестов.

Описание концепции платформы

Предлагаемая система будет состоять из двух отдельных программ, синхронизированных через API и базу данных. Для оператора это программное обеспечение будет представлено в формате desktop-приложения, это формат выбран как наиболее удобный для установки на компьютер, за которым будет работать ответственный специалист, важной особенностью концепции является возможность создания новых учетных записей для одной организации с разными правами доступа, это наиболее актуально для больших музеев, где над геймификацией может работать целая команда разработчиков. Вторая часть синхронизированной системы представлена в виде мобильного приложения для операционной системы Android для посетителей.

Пользовательский опыт

Сценарий работы для оператора: после установки и первого запуска приложения работник создает новую организацию, ему присваиваются права администратора организации. Он имеет возможность создавать новые учетные записи или одобрять уже созданные под конкретную роль. Пользователи приложения получают возможность использования готовых шаблонов, просмотра статистики по уже выложенным квестам, загрузке медиа контента. Простой интерфейс позволит уменьшить порог входа, и позволит сотрудникам музеев без специальных технических навыков создавать цифровые квесты.

Сценарий работы для посетителей: после установки и запуска мобильного приложения пользователь получает возможность участия в квестах, для этого он может либо найти нужную организацию в поисковике, либо отсканировать QR код. Ключевой особенностью концепции интерактивных квестов в рамках приложения является то, что ответ на любой вопрос из квеста можно найти вокруг себя (в противном случае мы провоцируем посетителя обратиться к интернет-ресурсам), но, чтобы найти ответ пользователь нужен найти нужную локацию, для этого используются QR-коды, находящиеся в пространстве музея. Таким образом, стандартный сценарий прохождения квеста может выглядеть следующим

образом: сканируем стартовый код -> получаем подсказку для перемещения в следующую локацию -> сканируем код -> получаем вопрос -> отвечаем на него (в зависимости от правильности получаем баллы) -> получаем следующую подсказку.

Заключение

При внедрении интерактивных механик взаимодействия с музейным пространством ожидается увеличение интереса со стороны молодежи, повышение уровня запоминания информации. Предлагаемая платформа создает возможность для разработки новых неформальных образовательных программ и уникальных сценариев для организаций в независимости от их масштаба и бюджета. Для музеев платформа будет иметь следующие преимущества: снижение затрат на разработку и поддержание интерактивных механик взаимодействия с посетителями, высокую масштабируемость, моментальную аналитику о предпочтениях посетителей.

Список литературы

1. Барабошина, В. В. Мобильные приложения для музеев: отечественный опыт / В. В. Барабошина // Многомерность общества: цифровой поворот в гуманитарном знании 3-й молодежный конвент : материалы международной студенческой конференции, Екатеринбург, 14–16 марта 2019 года. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2019. – С. 43-46. – EDN RCHDL D.
2. Гордин, В. Э. Музейный маркетплейс: гибридные форматы онлайн- и оффлайн-продуктов музеев / В. Э. Гордин, И. А. Сизова. – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 272 с.
3. Как выбрать интерактивное оборудование для музея: игры и квесты // Axe-Tech. – 2025. – URL: https://axe-tech.ru/news_and_article/uroki-po-istorii-i-patrioticheskomu-vospitaniyu-s-ispolzovaniem-interaktivnyh-dosok-i-drugogo-multimedijnogo-oborudovaniya2/ (дата обращения: 01.02.2026).
4. Козлова, А. С. Современная отечественная практика работы мобильных приложений в музее / А. С. Козлова // Скиф. 2019. №7 (35). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennaya-otechestvennaya-praktika-raboty-mobilnyh-prilozheniy-v-muzee> (дата обращения: 01.02.2026).

5. Ноль, Л. Я. Информационные технологии в деятельности музея : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 021000 - Музеология / Л. Я. Ноль ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Российский гос. гуманитарный ун-т, Фак. истории искусства, Каф. музеологии. – Москва : Российский гос. гуманитарный ун-т, 2007. – 203, [1] с. : ил., табл. : 21 см.; ISBN 978-5-7281-0966-2.

6. Россияне старше 55 лет интересуются музеями в 7 раз чаще, чем молодежь // НАФИ. – 2023. – URL: <https://nafi.ru/analytics/rossiyane-starshe-55-let-interesyutsya-muzeyami-v-razy-chashche-chem-molodezh/> (дата обращения: 01.02.2026).

7. Тренды культурного досуга: 1992 – 2022 гг. // ВЦИОМ. – 2022. – URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/trendy-kulturnogo-dosuga-1992-2022> (дата обращения: 01.02.2026).

References

1. Baraboshina, V. V. Mobile Applications for Museums: Domestic Experience / V. V. Baraboshina // Multidimensionality of Society: The Digital Turn in Humanities Knowledge, 3rd Youth Convention: Proceedings of the International Student Conference, Yekaterinburg, March 14–16, 2019. – Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, 2019. – pp. 43-46. – EDN RCHDL D.

2. Gordin, V. E. Museum Marketplace: Hybrid Formats of Online and Offline Museum Products / V. E. Gordin, I. A. Sizova. – Moscow: HSE University, 2023. – 272 p.

3. How to Choose Interactive Equipment for a Museum: Games and Quests // Axe-Tech. – 2025. – URL: https://axe-tech.ru/news_and_article/uroki-po-istorii-i-patrioticheskomu-vospitaniyu-s-ispolzovaniem-interaktivnyh-dosok-i-drugogo-multimedijnogo-oborudovaniya2/ (accessed: 01.02.2026).

4. Kozlova, A. S. Contemporary Domestic Practice of Using Mobile Applications in Museums / A. S. Kozlova // Skif. 2019. No. 7 (35). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennaya-otechestvennaya-praktika-raboty-mobilnyh-prilozheniy-v-muzee> (accessed: 01.02.2026).

5. Nol, L. Ya. Information Technologies in Museum Activities: A Textbook for Students of Higher Educational Institutions Enrolled in Specialty 021000 - Museology / L. Ya. Nol; Federal Agency for Education, State Educational Institution of

Higher Professional Education Russian State University for the Humanities, Faculty of Art History, Department of Museology. – Moscow: Russian State University for the Humanities, 2007. – 203, [1] p. : ill., tables. ; 21 cm.; ISBN 978-5-7281-0966-2.

6. Russians Over 55 Are Interested in Museums 7 Times More Often Than Young People // NAFI. – 2023. – URL: <https://nafi.ru/analytics/rossiyane-starshe-55-let-interesuyutsya-muzeyami-v-razy-chashche-chem-molodezh/> (accessed: 01.02.2026).

7. Trends in Cultural Leisure: 1992 – 2022 // VCIOM. – 2022. – URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/trendy-kulturnogo-dosuga-1992-2022> (accessed: 01.02.2026).

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА

А.В. Гидулян¹, С.Л. Сахаров¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной работе представлена комплексная методика разработки прогностической модели дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Основное внимание уделено этапам формирования многомерного признакового пространства, обоснованию выбора архитектуры на базе алгоритма XGBoost и разработке методики верификации модели. В статье детально описан системный подход к интеграции разнородных данных (инфраструктурных, метеорологических, временных) для создания высоконадежной системы поддержки принятия решений. Предложенная методика кластеризации позволяет формализовать процесс выявления латентных очагов аварийности, что является важным шагом в цифровизации управления безопасностью дорожного движения.

Ключевые слова: машинное обучение, дорожно-транспортные происшествия, градиентный бустинг, XGBoost, системный анализ, прогнозирование аварийности.

DESIGN METHODIC OF AN INTELLIGENT ACCIDENT FORECASTING SYSTEM BASED ON GRADIENT BOOSTING ALGORITHMS

A.V. Gidulyan¹, S.L. Sakharov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper presents a comprehensive methodology for the development of a predictive model for road traffic accidents (RTAs). The main focus is on the stages of multidimensional feature space formation, the justification for the choice of architecture based on the XGBoost algorithm, and the development of a model verification technique. The article provides a detailed description of a systems approach to the integration of heterogeneous data (infrastructural, meteorological,

temporal) to create a highly reliable decision support system. The proposed clustering technique allows for the formalization of the process of identifying latent accident hotspots, which is a significant step in the digitalization of road safety management.

Keywords: machine learning, road traffic accidents, gradient boosting, XGBoost, systems analysis, accident forecasting.

Введение

Современная дорожно-транспортная инфраструктура – штука сложная. Это целая организационно-техническая система, в которой полно неопределённости и рисков. Старые статистические методы смотрят на уже случившиеся аварии, но для превентивных мер этого мало. Нужно предсказывать, а не просто регистрировать. Концепция «Vision Zero» (ноль смертей на дорогах) как раз требует инструментов прогнозирования и раннего выявления факторов риска. Вот почему наше исследование актуально: мы ищем новые подходы к управлению высоконнадёжными транспортными системами. Машинное обучение тут отлично подходит – оно может перерабатывать огромные объёмы данных и находить сложные, в том числе нелинейные, связи между дорожной средой и вероятностью аварий.

Описание исходных данных и их структурирование

Чтобы построить прогностическую модель, нужны качественные данные. Это отправная точка. В нашей методологии описан алгоритм, который собирает информацию из нескольких источников и составляет многомерный профиль каждого ДТП.

База ГИБДД – основа датасета. Оттуда мы берём проверенные данные о типе происшествия, координатах и времени [5]. Потом добавляем метеоархивы – чтобы учесть погоду в момент аварии: осадки, видимость, температуру.

Геоинформационные системы (ГИС) дают ещё один слой: морфологию дорог – перекрёстки, знаки, пешеходные переходы.

Особо важен асфальт, то есть состояние дорожного полотна. Исследования показывают, что имитационное моделирование деформаций помогает понять, почему машина теряет устойчивость на том или ином участке [8].

В итоге всё сводим в реляционную таблицу. Каждая запись – состояние конкретного сегмента дороги в конкретный момент времени. Такой формат позволяет алгоритмам МЛ находить скрытые корреляции между инфраструктурой и внешней средой.

Формирование признакового пространства (Feature Engineering)

Исходные данные мы превратили в структурированный набор предсказательных переменных (предикторов). Получилось три основные группы.

Временные характеристики. Суточные и сезонные ритмы трафика цикличны. Поэтому обычные метки вроде часа суток или месяца мы перевели в непрерывные координаты через синус и косинус. Ещё добавили бинарные флаги – выходной сегодня или праздник.

Параметры среды и трафика. Сюда вошли температура, осадки, видимость и интенсивность движения. Эти числа мы отмасштабировали в диапазон от 0 до 1 (минимаксная нормализация), чтобы алгоритм работал стабильно.

Инфраструктурные факторы. Категории вроде «состояние покрытия» (сухое, мокрое, снежный накат, гололёд), «режим освещения», «категория дороги» мы закодировали через One-Hot Encoding. Так алгоритм воспринимает их как независимые признаки и не выстраивает ложного порядка.

Самая большая головная боль – стохастичность транспортных потоков. Она сильно зашумляет данные об аварийности. Чтобы снизить влияние выбросов, при формировании выборок применяли сглаживание. Похожий подход используется в диагностике отказов в гидравлических системах, где тоже нужно отделять закономерности от случайных помех [7].

Обоснование и архитектура рабочей модели

В качестве вычислительного ядра мы взяли XGBoost – экстремальный градиентный бустинг. Почему не глубокие нейронные сети? Потому что структура выборки (табличные данные) лучше подходит для деревьев. XGBoost даёт высокую точность и, что важно, позволяет интерпретировать прогнозы – можно оценить значимость каждого фактора (Feature Importance).

Модель работает как многоступенчатый процесс. Сначала строится ансамбль деревьев, где каждая следующая итерация исправляет ошибки предыдущей – это градиентный спуск в функциональном пространстве [3]. Поскольку ДТП – события редкие и случайные, мы жёстко контролируем переобучение с помощью L1- и L2-регуляризации [4].

Важная особенность нашего подхода – предварительная кластеризация. Алгоритм K-means разбивает дорожную сеть на однородные кластеры. Зачем? Чтобы не пытаться сделать одну усреднённую модель для всех. Вместо этого мы обучаем локальные предикторы, которые настраиваются под конкретные объекты – скоростные трассы, горные участки, городские улицы.

Методика обучения и валидации

Веса модели мы подбирали, минимизируя среднеквадратичную ошибку (MSE). Почему именно её? Потому что MSE чувствительна к большим отклонениям прогнозов от реальности, а для аварийности это критично. В связке с градиентным спуском MSE даёт высокую чувствительность к факторам, которые резко повышают риск.

Для надёжности применяем K-fold кросс-валидацию [3]. Это имитирует работу модели на новых, невиданных данных. Гиперпараметры (learning rate, max depth, subsample) подбираем автоматически – с помощью байесовской оптимизации. Так можно найти глобальный максимум качества при ограниченных вычислительных ресурсах.

Всю прогностическую модель мы завернули в детерминированный конвейер (pipeline). Это единая технологическая цепочка, которая исключает утечку информации и гарантирует одинаковые преобразования при обучении и в реальной работе.

Сначала блок масштабирования: разнородные параметры – от погоды до координат – приводятся к сопоставимым диапазонам. Это убирает доминирование признаков с большой амплитудой и стабилизирует сходимость градиентного спуска.

Потом центральное звено – регрессионный ансамбль XGBoost. Он последовательно уменьшает остаточные ошибки и так приближает сложные нелинейные зависимости.

И наконец модуль постобработки: здесь сырые математические выходы превращаются в прикладные форматы. Отсекаем невозможные отрицательные значения, разбиваем прогнозы на уровни риска. В итоге набор алгоритмов становится целостным инструментом, который выдаёт понятные сценарии для управления безопасностью на дорогах.

Метрики оценки качества и методика выявления зон риска

Для проверки модели используем пятиблочную кросс-валидацию (k-fold, k=5). Это подтверждает статистическую устойчивость алгоритма и его надёжность на новых данных – ключевое требование для предиктивных транспортных систем.

Количественно точность оцениваем по трём **指标**ам. Основной – RMSE (корень из среднеквадратичной ошибки). Он наиболее чувствителен к крупным промахам, а для тяжёлых ДТП цена ошибки высока. Дополнительно считаем MAE (среднюю абсолютную ошибку) – она даёт понятную интерпретацию в реальном количестве инцидентов. И R^2 (коэффициент детерминации) – долю объяснённой дисперсии.

В экспериментах алгоритм показал $R^2 = 0,89$. То есть модель объясняет 89% вариативности аварийности. Анализ факторов: больше всего влияют освещённость (27%) и состояние покрытия (19%). Разница метрик между обучающей и контрольной выборками – менее 5%, значит, переобучения нет, система хорошо обобщает.

Как мы выявляем очаги аварийности? Синтезируем прогнозные значения с пространственным анализом плотности событий. Участки, где расчётный риск превышает пороги, становятся приоритетными. Особенно важно находить латентные очаги – сегменты, где раньше не было статистики ДТП, но сейчас сложилось критическое сочетание факторов риска.

Заключение

Мы разработали комплексную методику для интеллектуальной системы прогнозирования ДТП на основе XGBoost. Предиктивное моделирование позволило перейти от констатации прошлых аварий к проактивному анализу рисков. Реализация модели в виде детерминированного конвейера дала стабильность преобразований и воспроизводимость результатов – это важно для высоконадёжных сред.

Эксперименты подтвердили эффективность: $R^2 = 0,89$, RMSE низкая. Модель точно аппроксимирует нелинейные зависимости, несмотря на стохастичность трафика. Анализ значимости признаков показал, насколько освещённость и состояние дорог влияют на аварийность.

Главный практический результат – методика выявления латентных очагов. Синтез предсказаний и пространственной кластеризации позволил локализовать зоны с высоким скрытым потенциалом опасности, которые традиционные методы не замечали из-за отсутствия истории происшествий. Если внедрить наш подход в дорожное хозяйство, можно создать динамические системы поддержки решений, работающие в реальном времени.

Список литературы

1. О безопасности дорожного движения : Федеральный закон от 10.12.1995 № 196-ФЗ // КонсультантПлюс: [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8585/ (дата обращения: 05.02.2026).
2. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 24 с.
3. Chen, T. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System / T. Chen, C. Guestrin // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – P. 785–794.
4. Hastie, T. The Elements of Statistical Learning : Data Mining, Inference, and Prediction / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. – 2nd ed. – New York : Springer, 2009. – 745 p.
5. Показатели состояния безопасности дорожного движения : сайт. – URL: <http://stat.gibdd.ru> (дата обращения: 09.02.2026).
6. Петров, А. И. Дорожно-транспортная аварийность в России / А. И. Петров, В. И. Колесов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 199–220.
7. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111–120.
8. Викулин, И. А. Имитационное моделирование деформативных показателей ведомственных автомобильных дорог / И. А. Викулин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 24–31.
9. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52–61.

References

1. On Road Safety: Federal Law of the Russian Federation of December 10, 1995 No. 196-FZ. (In Russ.).

2. GOST R 50597–2017. Roads and streets. Requirements for operational condition acceptable under traffic safety conditions. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 24 p. (In Russ.).
3. Chen, T., Guestrin, C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016, pp. 785–794.
4. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. 2nd ed. New York, Springer, 2009. 745 p.
5. Traffic safety indicators: website. Available at: <http://stat.gibdd.ru> (accessed: 09.02.2026). (In Russ.).
6. Petrov, A.I., Kolesov, V.I. Road traffic accidents in Russia. Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast, 2021, vol. 14, no. 1, pp. 199–220. (In Russ.)
7. Sazonova, S.A. Modeling the leak diagnostic process based on a dual-alternative hypothesis considering stochastic consumption interference in a hydraulic system. Modeling of Systems and Processes, 2024, vol. 17, no. 1, pp. 111–120. (In Russ.).
8. Vikulin, I.A. Simulation modeling of deformation indicators of departmental highways. Modeling of Systems and Processes, 2024, vol. 17, no. 2, pp. 24–31. (In Russ.).
9. Korobova, L.A. System approach in solving applied medical diagnostic problems. Modeling of Systems and Processes, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 52–61. (In Russ.).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕВОГО ТРАФИКА: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ

А.Ю. Глотова¹, А.В. Сухарский¹, В.И. Силонов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Выполнен сравнительный аналитический обзор методов моделирования сетевого трафика. Рассмотрены аналитические модели на основе теории массового обслуживания, имитационные модели и натурные эксперименты. Для каждого метода определены области применения, приведены оценки точности и трудоемкости. Сформулированы рекомендации по выбору метода в зависимости от характера решаемой задачи.

Ключевые слова: моделирование систем, сетевой трафик, теория массового обслуживания, имитационное моделирование, самоподобие.

NETWORK TRAFFIC MODELING: COMPARATIVE EVALUATION OF METHODS

A.Y. Glotova¹, A.V. Sukharsky¹, V.I. Silonov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. A comparative analytical review of network traffic modeling methods is performed. Analytical models based on queuing theory, simulation models, and field experiments are considered. The application areas of each method are defined, and estimates of accuracy and labor intensity are provided. Recommendations are formulated for choosing a method depending on the nature of the problem to be solved.

Keywords: system modeling, network traffic, queuing theory, simulation modeling, self-similarity.

Введение

Проектирование современных компьютерных сетей сопряжено с необходимостью прогнозирования их поведения под нагрузкой. Инженер должен знать, какую пропускную способность закладывать, какие буферы выбирать, как поведет себя сеть при пиковых нагрузках или отказах оборудования. Получить ответы на эти вопросы можно тремя принципиально разными способами: аналитически, имитационно или экспериментально.

Каждый из подходов имеет свою историю и свою нишу. Аналитические методы восходят к работам Эрланга начала XX века и хорошо разработаны математически. Имитационное моделирование получило развитие с появлением ЭВМ и позволяет воспроизводить поведение сетей с высокой детализацией. Натурные эксперименты дают наиболее достоверные результаты, но требуют значительных ресурсов.

Выбор метода моделирования осложняется тем, что трафик современных сетей обладает свойствами, которые классические модели описывают плохо. Речь идёт о самоподобии и длительной зависимости – их обнаружили ещё в 1990-х годах. Эти свойства заставляют пересматривать устоявшиеся подходы и критически оценивать точность традиционных методов.

Цель работы – систематизировать сведения о методах моделирования сетевого трафика и дать ориентиры для их выбора.

Характеристика реального трафика

До недавнего времени при анализе сетей исходили из предположения, что поток пакетов подчиняется пуассоновскому закону. Это означало: интервалы между пакетами распределены экспоненциально, а число пакетов за фиксированный интервал времени – по закону Пуассона. Для телефонных сетей, где вызовы генерируются независимыми абонентами, такое предположение было вполне оправданным.

Однако в 1994 году коллектив исследователей под руководством Лелэнда опубликовал результаты анализа трафика Ethernet, которые заставили усомниться в универсальности пуассоновской модели. Оказалось, что трафик компьютерных сетей обладает свойством самоподобия: его статистические характеристики сохраняются при изменении масштаба времени. Иными словами, график загрузки канала за минуту визуально похож на график за час, а тот – на график за сутки.

Количественно степень самоподобия характеризуют параметром Херста H . Для пуассоновских процессов $H = 0,5$. Для реального сетевого трафика, согласно многочисленным измерениям, H лежит в диапазоне $0,7-0,9$. Чем ближе H к единице, тем более выражен эффект самоподобия.

Из самоподобия вытекает важное практическое следствие: длина очереди в буферах маршрутизаторов растет с увеличением загрузки значительно быстрее, чем предсказывает классическая теория. Если при пуассоновском трафике очередь увеличивается линейно, то при самоподобном – по степенному закону.

Это означает, что расчет буферов по формулам Эрланга или Клейнрока может привести к их недостаточности и, как следствие, к потерям пакетов.

Методы моделирования

Аналитические методы

Аналитическое моделирование базируется на математическом описании процессов передачи данных. Наиболее распространенным аппаратом выступает теория массового обслуживания. Узел сети представляется в виде системы, состоящей из накопителя (буфера) и обслуживающего прибора (канала или процессора). На рис. 1 представлена схема простейшей системы массового обслуживания, которая лежит в основе большинства аналитических моделей.

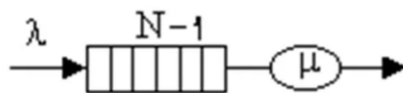


Рис. 1. Схема системы массового обслуживания M/M/1:

λ – интенсивность входящего потока, μ – интенсивность обслуживания

Классическая модель M/M/1 предполагает пуассоновский входящий поток, экспоненциальное распределение времени обслуживания и бесконечный буфер. Для нее получены простые соотношения:

- средняя длина очереди $L = \rho/(1-\rho)$, где $\rho = \lambda/\mu$ – загрузка системы;
- среднее время ожидания $W = 1/(\mu-\lambda)$.

Эти формулы широко используются для быстрых оценок. Однако их применимость к реальным сетям ограничена. При загрузке до 30–40% погрешность составляет 10–15%, что приемлемо для предварительных расчетов. При загрузке 60–70% погрешность может достигать 40–50% из-за самоподобного характера трафика.

Более сложные аналитические модели учитывают самоподобие через использование фрактального броуновского движения. В таких моделях параметр Херста вводится непосредственно в выражения для дисперсии и корреляционной функции. Однако сложность математического аппарата и необходимость предварительной оценки H по эмпирическим данным ограничивают применение этих моделей на практике.

Имитационное моделирование

Имитационное моделирование заключается в программном воспроизведении процессов функционирования сети. Создается модель, содержащая описание узлов, связей, протоколов и источников нагрузки, после чего выполняется прогон модели на ЭВМ с фиксацией интересующих показателей.

Преимущество имитации перед аналитикой – возможность учета деталей, которые невозможно описать математически. Например, протокол TCP включает механизмы медленного старта, динамического изменения окна перегрузки, тайм-аутов и выборочных подтверждений. Аналитическое описание этих механизмов крайне сложно, тогда как в имитационной модели они реализуются обычным программным кодом.

По уровню детализации имитационные модели делятся на три категории. Пакетные модели воспроизводят движение каждого пакета – это наиболее точный, но и наиболее ресурсоемкий подход. Поточковые модели оперируют агрегированными характеристиками потоков, что позволяет моделировать более крупные сети. Сессионные модели работают на уровне пользовательских сессий и используются для анализа абонентской нагрузки.

По способу задания входного трафика различают стохастические модели (использующие генераторы случайных чисел с заданными распределениями) и трассовые модели (воспроизводящие реальные записи трафика). Трассовые модели точнее, но привязаны к конкретным условиям измерений.

Основной недостаток имитационного моделирования – высокая вычислительная трудоемкость. Для получения статистически значимых результатов требуется многократный прогон модели при разных реализациях случайных процессов. При моделировании крупных сетей время расчетов может исчисляться часами и сутками.

Натурное моделирование

Натурное моделирование предполагает использование реального оборудования в лабораторных условиях либо выделение фрагмента действующей сети. Этот подход обеспечивает максимальную достоверность, поскольку исключает допущения, неизбежные при любом абстрактном описании.

Однако натурное моделирование имеет серьезные ограничения. Первое – стоимость. Коммутаторы, маршрутизаторы, генераторы трафика и измерительное оборудование требуют инвестиций. Второе – масштабируемость. Для иссле-

дования сети из сотни узлов нужно располагать сотней реальных устройств. Третье – безопасность. На работающей сети нельзя экспериментировать с аварийными режимами без риска нарушить предоставление услуг.

Поэтому натурное моделирование применяют преимущественно для тестирования конкретного оборудования или для верификации результатов, полученных другими методами.

Сравнительная оценка методов

Обобщая сказанное, можно сопоставить методы моделирования по нескольким критериям. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики рассмотренных методов.

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов моделирования сетевого трафика

Критерий	Аналитические методы	Имитационные методы	Натурные методы
Точность	Низкая-средняя (погрешность 10–50%)	Средняя-высокая (5–20%)	Максимальная (1–5%)
Время получения результата	Минуты-часы	Часы-дни	Дни-недели
Стоимость реализации	Низкая	Средняя	Высокая
Учет деталей протоколов	Отсутствует	Полный	Естественный
Масштабируемость	Высокая	Средняя	Низкая
Возможность исследования критических режимов	Теоретическая	Полная	Ограниченная

Анализ данных, представленных в таблице 1, позволяет сделать следующие выводы. Наибольшую точность дает натурный эксперимент. При корректно поставленных измерениях погрешность не превышает 1–3%. Имитационное моделирование при использовании реальных трасс обеспечивает точность 3–10%, при стохастической генерации – 10–20%. Аналитические методы в зависимости от сложности модели и загрузки сети дают погрешность от 10 до 50%.

По трудоемкости реализации методы также существенно различаются. Аналитические методы требуют минимальных затрат времени – от минут до часов. Разработка имитационной модели может занять дни и недели. Подготовка натурального эксперимента – от недель до месяцев с учетом закупки и настройки оборудования.

Масштабируемость аналитических методов практически не ограничена – уравнения решаются для сети любой размерности. Имитационное моделирование ограничено вычислительными ресурсами, но современные многопроцессорные системы позволяют моделировать сети из тысяч узлов. Натурное моделирование масштабируется хуже всего – физические ресурсы всегда ограничены.

Рекомендации по выбору метода

Исходя из приведенных характеристик, можно сформулировать несколько практических рекомендаций.

Для предварительной оценки пропускной способности на ранних стадиях проектирования достаточно аналитических моделей. Если ожидаемая загрузка каналов не превышает 40%, погрешность аналитики вполне допустима.

Для расчета буферной памяти коммутаторов и маршрутизаторов аналитические методы непригодны. Здесь необходимо имитационное моделирование с учетом самоподобного характера трафика. Пренебрежение этим требованием приводит к систематическому занижению требуемого объема памяти.

При разработке новых протоколов и алгоритмов имитационное моделирование является фактически единственным рабочим инструментом. Аналитика слишком сложна для описания нетривиальной логики, а натурный эксперимент невозможен из-за отсутствия готовых реализаций.

Для финальной проверки проектных решений перед закупкой оборудования целесообразно проводить ограниченные натурные испытания на минимальной конфигурации. Это позволяет выявить ошибки, не замеченные при имитационном моделировании.

В случаях, когда сеть уже существует и требуется прогнозировать последствия ее модернизации, оптимальным представляется сочетание методов. На реальной сети собираются трассы трафика, которые затем используются как входные данные для имитационной модели. Такой подход обеспечивает наилучшее соотношение точности и затрат.

Заключение

Подводя итог, можно сказать прямо: универсального метода моделирования сетевого трафика не существует. У каждого метода своя область применения, которая определяется требованиями к точности, доступными ресурсами и характером решаемой задачи.

Аналитические методы хороши для быстрых оценок, но их точность падает с ростом загрузки сети – сказываются самоподобные свойства реального трафика. Имитационное моделирование позволяет эти свойства учесть и получить достоверные результаты, но ценой больших вычислительных затрат. Натурный эксперимент даёт максимальную точность, однако требует значительных ресурсов и непригоден для исследования критических режимов.

Наиболее перспективное направление развития методологии – гибридное моделирование, которое сочетает достоинства разных подходов. В таких моделях критические участки сети описываются имитационно, а периферия – аналитически; это позволяет найти разумный баланс между точностью и трудоёмкостью.

Результаты данной статьи могут быть полезны при планировании работ по моделированию сетевого трафика и при интерпретации полученных результатов.

Список литературы

1. Столлингс В. Современные компьютерные сети. – 6-е изд. – СПб.: Питер, 2021. – 784 с.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – 6-е изд. – СПб.: Питер, 2020. – 1008 с.
3. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1994. – Vol. 2, No. 1. – P. 1–15.
4. Park K., Willinger W. Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation. – New York: Wiley-Interscience, 2000. – 558 p.
5. Jain R. The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling. – 2nd ed. – New York: Wiley, 2019. – 720 p.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
7. Paxson V., Floyd S. Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1995. – Vol. 3, No. 3. – P. 226–244.
8. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. – 6-е изд. – СПб.: Питер, 2019. – 960 с.
9. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора / А. И. Заревич, Е. В. Вегнер, И. И. Винтизенко // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78–82.

10. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана / А. В. Полуэктов, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко, М. В. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71–83.

References

1. Stollings V. Modern Computer Networks. – 6th ed. – St. Petersburg: Peter, 2021. – 784 p.
2. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer Networks. Principles, Technologies, and Protocols. – 6th ed. – St. Petersburg: Peter, 2020. – 1008 p.
3. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1994. – Vol. 2, No. 1. – P. 1–15.
4. Park K., Willinger W. Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation. – New York: Wiley-Interscience, 2000. – 558 p.
5. Jain R. The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling. – 2nd ed. – New York: Wiley, 2019. – 720 p.
6. Kleinrock L. Queuing Theory. – M.: Mashinostroyeniye, 1979. – 432 p.
7. Paxson V., Floyd S. Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1995. – Vol. 3, No. 3. – P. 226–244.
8. Tanenbaum E., Uzerall D. Computer Networks. – 6th ed. – St. Petersburg: Petersburg, 2019. – 960 p.
9. Automated complex for diagnostics of pulses of a relativistic microwave generator / A. I. Zarevich, E. V. Wegner, I. I. Vintizenko // Instruments and techniques of experiment. 2004. No. 3. pp. 78-82.
10. 10. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical shield / A.V. Poluektov, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, M. V. Solodilov // Modeling of systems and processes. - 2025. – Vol. 18, No. 4. – pp. 71-83.

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА И АДАПТАЦИИ CRM-СИСТЕМ ДЛЯ МАЛЫХ АГЕНТСТВ НЕДВИЖИМОСТИ: АНАЛИЗ И ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ОТРАСЛЕВОГО РЕШЕНИЯ

Д.И. Гнатенко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема выбора и внедрения информационных систем для автоматизации деятельности малых агентств недвижимости, на примере агентства «Место под солнцем». Проводится анализ существующих на рынке решений, выявляются их ключевые недостатки с точки зрения молодых компаний с ограниченным бюджетом. В основе предлагается подход к созданию специализированного программного модуля, который сочетает в себе функциональность, необходимую для учета объектов недвижимости, клиентов и сделок, с возможностью гибкой адаптации под нужды конкретного агентства. Особое внимание уделяется вопросам проектирования базы данных, выбора инструментов разработки и реализации ключевых бизнес-процессов, таких как расчет комиссионного вознаграждения.

Ключевые слова: CRM-система, агентство недвижимости, автоматизация, малый бизнес, информационная система, реляционная база данных, программная реализация, пользовательский интерфейс.

THE PROBLEM OF CHOOSING AND ADAPTING CRM SYSTEMS FOR SMALL REAL ESTATE AGENCIES: ANALYSIS AND APPROACH TO DEVELOPING AN INDUSTRY SOLUTION

D.I. Gnatenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Abstract. This article examines the pressing issue of selecting and implementing information systems to automate the operations of small real estate agencies. It analyzes existing solutions on the market and identifies their key shortcomings from the perspective of young companies with limited budgets. It proposes an approach to creating a specialized software module that

combines the functionality necessary for accounting for real estate assets, clients, and transactions, with the ability to be flexibly adapted to the needs of a specific agency. Particular attention is paid to database design, selection of development tools, and implementation of key business processes, such as commission calculation.

Keywords: CRM system, real estate agency, automation, small business, information system, relational database, software implementation, user interface.

Введение

В современных условиях рынка недвижимости эффективность работы агентства напрямую зависит от качества организации внутренних бизнес-процессов. Взаимодействие с клиентами, учет объектов, сопровождение сделок и формирование отчетности требуют применения специализированных инструментов, известных как CRM-системы (Customer Relationship Management). Для крупных, давно работающих компаний оптимальным решением часто становится разработка индивидуальной CRM-системы «под ключ» или внедрение дорогостоящих лицензионных продуктов. Однако для молодых, малых агентств недвижимости, которые только начинают свой путь или работают в ограниченном бюджетном коридоре, этот путь сопряжен с рядом серьезных проблем.

Основная проблема, рассматриваемая в данной статье, заключается в противоречии между функциональными потребностями малого агентства недвижимости и возможностями существующего рынка программного обеспечения. С одной стороны, готовые лицензионные решения (например, YuCRM) предлагают широкий функционал, но требуют регулярной абонентской платы, размер которой растет с увеличением штата сотрудников. Кроме того, такие системы часто являются «черным ящиком»: компания не может оперативно влиять на их доработку и полностью зависит от службы технической поддержки. С другой стороны, полностью бесплатные решения (open-source) могут обладать ограниченным или, напротив, избыточным функционалом, иметь неочевидный интерфейс и требовать высокой квалификации сотрудников для настройки и обслуживания. Разработка же индивидуальной системы «под ключ» непозволительно дорога для начинающего бизнеса.

Целью данной статьи является анализ обозначенной проблемы и выбор пути разработки специализированной информационной системы, спроектированной с учетом потребностей и возможностей малого агентства недвижимости.

Анализ рынка CRM-систем и потребностей малых агентств недвижимости

Рынок программных продуктов для риелторов условно можно разделить на три категории: дорогостоящие индивидуальные разработки, лицензионные «коробочные» решения с абонентской платой и бесплатные open-source системы.

Анализ показывает, что для молодых компаний, таких как агентство «Место под солнцем», лицензионные решения имеют ряд существенных недостатков:

1) Финансовая нагрузка: Стоимость подписки (от 1300 до 50 000 руб./мес.) является значительной статьей расходов, особенно на начальном этапе.

2) Отсутствие гибкости: Компания не может самостоятельно адаптировать систему под свои уникальные, быстро меняющиеся бизнес-процессы. Любые изменения требуют обращения в техподдержку и, возможно, дополнительных вложений.

3) Избыточность/недостаточность функционала: В готовом продукте могут отсутствовать специфические функции, необходимые именно этому агентству, или, наоборот, присутствовать дорогостоящие модули, которые никогда не будут использоваться.

Бесплатные open-source решения, в свою очередь, часто требуют глубоких технических знаний для установки, настройки и поддержки, что также является проблемой для небольшой компании, в штате которой может не быть квалифицированного системного администратора.

Таким образом, возникает объективная потребность в создании специализированного программного модуля, который был бы, с одной стороны, доступным (с точки зрения разовой разработки), а с другой – полностью отвечал конкретным задачам агентства: учет собственников, покупателей, объектов недвижимости, сотрудников и сделок, а также формирование необходимой отчетности.

Методология проектирования и разработки адаптивной информационной системы

Проектирование системы основывается на методологии функционального моделирования IDEF0, что позволяет детально описать все бизнес-процессы агентства и построить иерархическую структуру их взаимодействия.

Ключевым аспектом, решающим проблему избыточности, стал тщательный анализ на этапе построения диаграмм декомпозиции. Вместо попытки охватить все мыслимые функции риелторской деятельности, разработка должна быть сфокусирована на четырех основных бизнес-процессах, характерных для любого малого агентства:

- 1) Оформление собственности на продажу
- 2) Поиск покупателей
- 3) Оформление сделки
- 4) Реализация отчетов

Программная реализация как ответ на вызовы гибкости и стоимости

Выбор инструментов разработки напрямую влияет на конечную стоимость проекта и его адаптивность. В предложенном решении выбор пал на связку C# (Windows Forms) и MySQL – это прагматичное и обоснованное решение для данного класса задач.

C# и .NET Framework дают мощные и проверенные средства для создания настольных приложений с графическим интерфейсом. Windows Forms, несмотря на свой «возраст», оптимален для быстрой разработки простых и надёжных бизнес-приложений. Это позволяет минимизировать время и, соответственно, стоимость разработки по сравнению с более современными, но и более сложными фреймворками (например, WPF). MySQL и MySQL Workbench – бесплатные и широко распространённые решения для управления базами данных, что исключает затраты на приобретение лицензий на СУБД. Такой технологический стек обеспечивает баланс между функциональностью, скоростью разработки и финансовой доступностью, а это напрямую отвечает потребностям небольшого агентства.

Программная реализация включает не только стандартные функции CRUD (создание, чтение, обновление, удаление), но и реализацию специфической бизнес-логики. Например, автоматический расчёт процента комиссии агентства (10%, 12% или 15%) в зависимости от того, есть ли у продавца и покупателя полный пакет документов. Это показывает, что даже простая система может быть интеллектуальной и снижать нагрузку на сотрудника, исключая ошибки ручного ввода.

Заключение

Проведенный анализ подтверждает наличие значимой проблемы на стыке потребностей малого риелторского бизнеса и предложений рынка CRM-систем. Основными барьерами для внедрения автоматизации в таких компаниях являются высокая стоимость готовых решений и их недостаточная гибкость.

Представленный в статье подход к разработке информационной системы предлагает (жизнеспособный) путь решения этой проблемы. Он базируется на следующих принципах:

- 1) Тщательное предпроектное обследование с использованием методологии IDEF0 для выделения только ключевых бизнес-процессов.
- 2) Использование доступного, но надежного технологического стека (C#, .NET, MySQL), минимизирующего затраты на разработку и лицензирование.
- 3) Создание интуитивно понятного и контекстно-зависимого интерфейса, снижающего порог вхождения для пользователей.
- 4) Реализация специфической бизнес-логики, автоматизирующей ключевые расчеты и повышающей ценность системы.

Представленный подход не является универсальным конкурентом мощным CRM-платформам. Его ценность заключается в другом – это пример создания сбалансированного, функционального и экономически оправданного инструмента, идеально подогнанного под задачи конкретного малого предприятия. Такой подход может служить моделью для разработки отраслевых решений в других сегментах малого бизнеса, где стандартные продукты либо слишком дороги, либо не отвечают специфике работы.

Список литературы

1. Barney, N. What is CRM (customer relationship management)? // TechTarget. 2024.
2. Open-source CRM системы (для России) // CRM2Web. 2024.
3. Нуриддинова, М.Ш.К. Информационная система в среде Embarcadero RAD Studio / М.Ш.К. Нуриддинова // Символ науки: международный научный журнал. – 2016. – № 6-1 (18). – С. 90-92.
4. Бутко, А.О. Разработка программного обеспечения на языке высокого уровня в среде Microsoft Visual Studio для информационных и экспертных систем в области материаловедения и технологий материалов / А.О. Бутко, А.Н. Козлов, В.А. Прудников. – Москва, 2011.

5. Патюченко, Ф.В. Windows Form или Windows Presentation Foundation / Ф.В. Патюченко, И.С. Слащев, А.В. Клименко, Л.А. Трегубенко // Modern Science. – 2019. – № 7-2. – С. 318-320.
6. Fedorova, N.V. Some aspects of functional modeling in the idef0 standard as the initial stage of tpps design / N.V. Fedorova, D.A. Shaforost, V.R. Bundikova, I.A. Denisova // AIP Conference Proceedings. – 2019. – С. 050010.
7. Бочманов, Р.С. Разработка описания процесса: карты процессов, диаграммы хода действия, диаграммы декомпозиции процесса / Р.С. Бочманов, С.А. Соловьева // Семьдесят третья всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов. – Ярославль, 2020. – С. 243-246.
8. Васильева, М.А. Введение в базы данных / М.А. Васильева, Е.П. Балакина. – Москва, 2007.
9. Жабаева, В.А. Разработка диаграммы последовательности для системы автоматизированного проектирования / В.А. Жабаева, А.П. Белякова, Н.А. Долгов, Д.А. Афонин // Теория и практика современной науки. – 2020. – № 1 (55). – С. 180-183.
10. Галанина, В.А. Базы данных: введение в теорию реляционных баз данных / В.А. Галанина. – Санкт-Петербург, 2008.
11. Потупчик, А.И. Выбор языков программирования для обучения студентов направления "профессиональное обучение" по дисциплине "языки и системы программирования" / А.И. Потупчик // Гарантии качества профессионального образования. – 2018. – С. 238-241.
12. Иванов, К.А. Основные аспекты работы с инструментом для визуального проектирования баз данных MySQL Workbench / К.А. Иванов, А.В. Тарутин // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2020. – Т. 1. – С. 4-9.
13. Бекирова, М.Э. Преимущества системы управления базами данных MySQL Workbench / М.Э. Бекирова // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. – 2023. – № 2 (40). – С. 5-12.
14. Крамаренко, Т.А. Создание интерфейса клиентского приложения для базы данных MYSQL на C# / Т.А. Крамаренко, М.А. Усатый // Colloquium-Journal. – 2018. – № 3-1 (14). – С. 39-43.
15. Солдатова М.А. Разработка имитационной модели влияния коммуникации с пользователями на управление и принятие решений по оценке инвестиционной привлекательности региона // Моделирование систем и процессов. 2023. Т. 16. № 4. С. 89-98.

References

1. Barney, N. (2024). What is CRM (customer relationship management)? Tech-Target. Retrieved from <https://www.techtarget.com/searchcustomerexperience/definition/CRM-customer-relationship-management>
2. Open-source CRM systems (for Russia). (2024, October 10). CRM2Web. Retrieved from https://www.crm2web.ru/tags/open-source_crm/
3. Nuriddinova, M.Sh.K. (2016). Information system in the Embarcadero RAD Studio environment. *Symbol of Science: International Scientific Journal*, 6-1(18), 90-92. (in Russian)
4. Butko, A.O., Kozlov, A.N., & Prudnikov, V.A. (2011). Software development in a high-level language in the Microsoft Visual Studio environment for information and expert systems in the field of materials science and materials technology. Moscow. (in Russian)
5. Patyuchenko, F.V., Slashchev, I.S., Klimenko, A.V., & Tregubenko, L.A. (2019). Windows Form or Windows Presentation Foundation. *Modern Science*, 7-2, 318-320. (in Russian)
6. Fedorova, N.V., Shaforost, D.A., Bundikova, V.R., & Denisova, I.A. (2019). Some aspects of functional modeling in the ideo standard as the initial stage of tpps design. In **AIP Conference Proceedings: Vol. 15. Proceedings of XV*
6. International scientific-technical conference "Dynamics of technical systems" (DTS-2019)* (p. 050010). AIP Publishing.
7. Bochmanov, R.S., & Solovyova, S.A. (2020). Development of process description: process maps, flowcharts, process decomposition diagrams. In *Seventy-third All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates and Postgraduates of Higher Educational Institutions with International Participation: Collection of conference materials (Vol. 2, pp. 243-246)*. Yaroslavl. (in Russian)
8. Vasilyeva, M.A., & Balakina, E.P. (2007). Introduction to databases: Textbook on the discipline "Information support of control systems". Moscow. (in Russian)
9. Zhabaeva, V.A., Belyakova, A.P., Dolgov, N.A., & Afonin, D.A. (2020). Development of a sequence diagram for a computer-aided design system. *Theory and Practice of Modern Science*, 1(55), 180-183. (in Russian)
10. Galanina, V.A. (2008). Databases: introduction to the theory of relational databases. Saint Petersburg. (in Russian)
11. Potupchik, A.I. (2018). Choice of programming languages for teaching students of the direction "vocational training" in the discipline "languages and programming systems". In *Guarantees of the quality of vocational education: Proceedings of*

the International Scientific and Practical Conference (pp. 238-241). Altai State Technical University. (in Russian)

12. Ivanov, K.A., & Tarutin, A.V. (2020). Basic aspects of working with the MySQL Workbench visual database design tool. *Innovative Technologies: Theory, Tools, Practice*, 1, 4-9. (in Russian)

13. Bekirova, M.E. (2023). Advantages of the MySQL Workbench database management system. *Information and Computer Technologies in Economics, Education and Social Sphere*, 2(40), 5-12. (in Russian)

14. Kramarenko, T.A., & Usaty, M.A. (2018). Creating a client application interface for MYSQL database in C#. *Colloquium-Journal*, 3-1(14), 39-43. (in Russian)

15. Soldatova, M.A. (2023). Development of a simulation model of the impact of communication with users on the management and decision-making in assessing the investment attractiveness of a region. *Modeling of Systems and Processes*, 16(4), 89-98. (in Russian).

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЛЕСНОГО УЧАСТКА: ОТ СБОРА ИОТ-ДАННЫХ К КОГНИТИВНЫМ МОДЕЛЯМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ

Е.А. Голова¹, В.И. Анциферова¹, А.А. Мазуров¹, А.С. Ягодкин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается подход к построению цифрового двойника лесного участка в рамках цикла «данные – модель – решение». Показано, как организовать переход от распределённого сбора информации (датчики IoT, материалы дистанционного зондирования) к построению моделей, описывающих состояние лесной экосистемы и пригодных для практического применения. Предлагается архитектура системы, которая отражает текущее состояние объекта и позволяет прогнозировать его изменения, поддерживая принятие управленческих решений по сохранению ресурсов и снижению рисков.

Ключевые слова: цифровой двойник, лесное хозяйство, интернет вещей (IoT), когнитивные модели, искусственный интеллект, предиктивная аналитика, устойчивое управление ресурсами.

CONCEPT OF A FOREST PLOT DIGITAL TWIN: FROM IoT DATA COLLECTION TO COGNITIVE MODELS FOR RESOURCE MANAGEMENT

E.A. Golova¹, V.I. Antsiferova¹, A.A. Mazurov¹, A.S. Yagodkin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper presents an approach to constructing a digital twin of a forest plot within a unified “data–model–decision” cycle. We describe how to organize the transition from distributed data collection (IoT sensors, remote sensing) to models that represent the state of the forest ecosystem and can be used in practice. The proposed system architecture represents the current state of the object and enables forecasting of its dynamics, supporting management decisions aimed at resource conservation and risk reduction.

Keywords: digital twin, forestry, Internet of Things (IoT), cognitive models, artificial intelligence, predictive analytics, sustainable resource management.

Введение

Современное лесное хозяйство и проекты лесовосстановления испытывают трудности с оперативным контролем больших территорий. Традиционные методы (ручные обходы, выборочные таксационные площадки, бумажная отчётность) занимают много времени, требуют значительных ресурсов и подвержены ошибкам. Такие подходы не подходят для мониторинга тысяч гектаров леса, поэтому реакция на пожары, вспышки болезней или незаконные рубки нередко запаздывает. Дополнительную сложность создают требования к прозрачности и проверяемости результатов при привлечении климатического финансирования и углеродных инвестиций, которым существующие системы не всегда удовлетворяют. В этих условиях возрастает интерес к инструментам, позволяющим получать данные автоматически и вблизи реального времени, одним из которых является цифровой двойник лесного участка.

Моделирование физических систем для цифровых двойников

В применении к лесным ландшафтам цифровой двойник – это виртуальная модель участка леса, которая регулярно обновляется за счёт измерений и наблюдений. Это позволяет прогнозировать состояние и планировать мероприятия по управлению [1]. Когда цифровые двойники интегрируются с дронами, искусственным интеллектом, датчиками интернета вещей (IoT) и технологиями блокчейна (включая смарт-контракты, которые лежат в основе децентрализованных финансов DeFi [2]), они открывают путь к новому поколению интеллектуальных систем восстановления лесных экосистем.

Технологии дистанционного зондирования, особенно съёмка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяют перейти к детальному мониторингу на уровне отдельных деревьев. Так, в исследовании Мазурова А.А. (2026) предложена система управления дроном, которая на основе алгоритмов компьютерного зрения в реальном времени выполняет оцифровку деревьев – определяет видовую принадлежность, высоту, диаметр кроны. А благодаря встроенным моделям принятия решений дрон способен автономно корректировать маршрут для более детального обследования аномальных участков [7]. Такой подход очень ценен для наполнения данными цифрового двойника лесного участка.

Технология блокчейн и мониторинг лесных участков

При интеграции цифровых двойников с беспилотными летательными аппаратами, системами искусственного интеллекта, IoT-датчиками и блокчейн-платформами открываются дополнительные возможности для учёта и верификации данных. Смарт-контракты могут использоваться для автоматизации бизнес-логики и финансовых расчётов, а распределённый реестр – для фиксации результатов мониторинга и хозяйственных операций. В совокупности такие решения позволяют точнее отслеживать состояние лесных участков и связывать его с системой стимулирующих мер и ограничений. [4].

Цифровой двойник леса: описание концептуальной модели

Основные компоненты предлагаемой модели цифрового двойника леса (ЦДЛ) представлены на Рисунке 1. Выбор компонентов основан на анализе существующих исследований, в частности на систематизации повторяющихся характеристик цифровых двойников [5]. Концептуальная модель разделяет систему на два взаимосвязанных пространства: физическое (реальное) и виртуальное. В центре физического пространства находится дерево как элементарная и фундаментальная единица лесной экосистемы. Деревья выступают основными объектами наблюдения, которые должны быть представлены в рамках ЦДЛ. Каждое дерево в модели описывается тремя концептуальными уровнями: физический слой и слой биотических переменных. Далее слой физических и физиологических процессов. Данная трехуровневая модель тиражируется для множества деревьев в экосистеме (на схеме обозначенных как объекты от 1 до n).

Основным ограничением исследования является отсутствие реализации фреймворков для реальных приложений. ЦДЛ (Цифровой двойник леса) может быть расширен за счёт внедрения модулей управления рисками и оценивать факторы риска, такие как пожары, засухи, ураганные ветры и т.д. Принципиально важно подчеркнуть, что нарушения в лесах и сопутствующие им риски по своей природе системно взаимосвязаны [6]. Указанные нарушения проявляются на разных пространственных масштабах (от отдельного дерева до всего ландшафта) и в различных временных горизонтах (от внезапного шторма до многолетней засухи). Сравнение и эффективность методов оценки леса можем увидеть в Таблице 1.

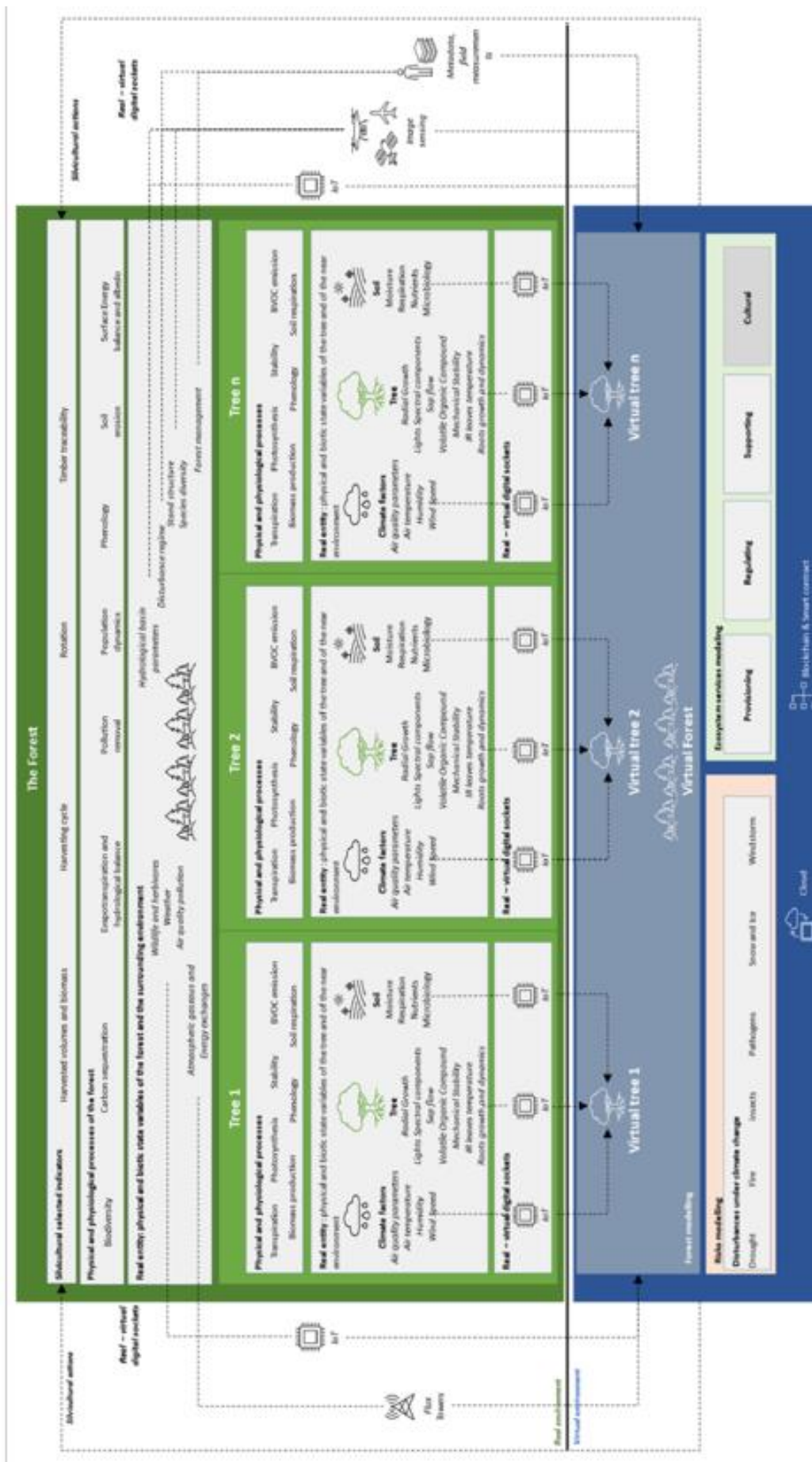


Рисунок 1 –Система цифровых двойников леса [1]

Проблемы и решения

Таблица 1 – Сравнение методов оценки леса

Критерий	Традиционный метод	Дистанционный метод	Цифровой двойник
Суть метода	Выезд в лес, измерения вручную на пробных площадях.	Съёмка с помощью спутников и дронов.	Комплексная система: датчики в лесу + дроны + спутники + ИИ-анализ.
Отражает	Запас древесины, породы, высоту и диаметр деревьев (на конкретной площадке).	Карту леса, границы вырубок, очаги пожаров, общую оценку состояния.	Всё выше + в реальном времени: Рост каждого дерева, влажность и температуру почвы, риски (пожары, болезни), прогноз на будущее
Частота данных	Раз в 5-10 лет (плановые проверки).	Раз в сезон или месяц (зависит от спутника).	Постоянно: датчики – каждые минуты/часы, дроны – по расписанию.
Плюсы	Высокая точность на месте, проверенная методика.	Быстрый охват больших территорий, объективность.	Позволяет совместить детальные измерения и охват больших площадей.
Минусы	Медленно, затратно, опасно, данные быстро устаревают.	Не видит детали под кронами, зависит от погоды, нужна проверка "с земли".	Высокая стоимость внедрения, нужны IT-специалисты, зависимость от технологий.
Лучше всего для	Подтверждения точных данных. Оценки конкретной делянки перед рубкой	Быстрого обнаружения проблем на большой площади Мониторинга изменений	Долгосрочного планирования и оперативного управления лесными ресурсами. Прогноза урожая и рисков Прозрачного учёта углерода и древесины

Согласно проведенному сравнению, модели оценки рисков не могут разрабатываться изолированно, для каждого фактора в отдельности. Напротив, необходим комплексный, интегральный подход, который учитывает причинно-следственные связи платформы ЦДЛ. Предлагаем рассмотреть на примере диаграммы последовательностей, Рисунок 2, взаимодействие компонентов при обработке данных лесного участка.

Заключение

Основным вектором развития лесного хозяйства становится формирование интегрированных киберфизических систем, в которых виртуальные цифровые двойники леса неразрывно связаны с реальным миром через сети датчиков и исполнительные устройства. Этот гибридный подход знаменует переход от пассивного наблюдения за лесными экосистемами к активному. Ключевую роль в этом процессе будут играть когнитивные модели, способные не просто обрабатывать данные, но и интерпретировать их смысл, выявлять сложные взаимосвязи и прогнозировать развитие сценариев в условиях климатической неопределённости.

Перспективные направления исследований сосредоточены на нескольких прорывных областях: разработка адаптивных когнитивных моделей, способных работать на множестве пространственных и временных масштабов, изучение потенциала квантовых вычислений обещает совершить революцию в скорости и сложности моделирования, позволяя в сотни раз быстрее просчитывать долгосрочные климатические сценарии и их влияние на лес, а также создание самообучающихся автономных систем, где цифровой двойник в реальном времени управляет флотом роботизированных платформ (дронов для посадки семян, мониторинга здоровья насаждений или точечного тушения возгораний).

Список литературы

1. Внедрение «цифрового двойника леса»: когда технологии видят каждое дерево // Пермская целлюлозно-бумажная компания (ПЦБК). – 2025. – URL: https://pcbк.ru/pressroom/company_news/2025/vnedrenie-cifrovogo-vojnika-lesa (дата обращения: 08.02.2026).

2. Каталакиди М. Искусственный интеллект всему голова // «Лесной комплекс» № 2 (66) март-апрель 2024 г. С. 12-17. [сайт]. – URL: <https://terratech.ru/media/files/fc-110424.pdf> (дата обращения: 29.01.2026).

3. Малафеев, О. А. Математический анализ моделей многоагентного инвестирования и функционирования структур агропромышленного комплекса : учеб. пособие / О. А. Малафеев, В. С. Шкрабак, Р. В. Шкрабак ; под ред. О. А. Малафеева, В. С. Шкрабака. — Санкт-Петербург : Проспект Науки, 2024. — 256 с. — ISBN 978-5-6046442-0-1. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/128689.html> (дата обращения: 05.02.2026).

4. Попов В.Д., Силина В.И., Чураков А.В., Шушков П.Н. Методы бесконтактного взвешивания древесных массивов в лесу при помощи цифровых двойников // Цифровые технологии прикладных научных исследований. Материалы

международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2025. С. 33-36.

5. Попов В.Д., Силина В.И., Чураков А.В., Шушков П.Н. Методы бесконтактного взвешивания древесных массивов в лесу при помощи цифровых двойников // Цифровые технологии прикладных научных исследований. Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2025. С. 33-36.

6. Скворцов А.А., Анурьева М.С., Солодовников А.Н. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для автоматизированного мониторинга пожаров в технических системах // Моделирование систем и процессов, научно-технический журнал. 2025. Т. 18, № 3. С. 2. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-85-96.

7. Мазуров А.А., Ягодкин А.С. Система управления БПЛА на основе компьютерного зрения с возможностью принятия решений // Моделирование систем и процессов, научно-технический журнал. 2026. Т. 19, № 1.

References

1. The introduction of the "digital twin of the forest": when technology sees every tree // Perm Pulp and Paper Company (PCBC). – 2025. – URL: https://pcbk.ru/pressroom/company_news/2025/vnedrenie-cifrovogo-vojnika-lesa (date of access: 02/08/2026).

2. Catalakidi M. Artificial intelligence is the head of everything // "Forest Complex" № 2 (66) March-April 2024, pp. 12-17. [website]. – URL: <https://terratech.ru/media/files/fc-110424.pdf> (date of request: 29.01.2026).

3. Malafeev, O. A. Mathematical analysis of models of multi-agent investment and functioning of structures of the agro-industrial complex : textbook. manual / O. A. Malafeev, V. S. Shkrabak, R. V. Shkrabak ; edited by O. A. Malafeev, V. S. Shkrabak. — Saint Petersburg : Prospekt Nauki, 2024. — 256 p. — ISBN 978-5-6046442-0-1. — Text : electronic // IPR SMART : [website]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/128689.html> (date of request: 02/05/2026).

4. Popov V.D., Silina V.I., Churakov A.V., Shushkov P.N. Methods of contactless weighing of woodlands in the forest using digital twins // Digital technologies of applied scientific research. Materials of the international scientific and practical conference. Saint Petersburg. 2025. pp. 33-36.

5. Popov V.D., Silina V.I., Churakov A.V., Shushkov P.N. Methods of contactless weighing of woodlands in the forest using digital twins // Digital technologies of

applied scientific research. Materials of the international scientific and practical conference. Saint Petersburg. 2025. pp. 33-36.

6. Skvortsov A.A., Anuryeva M.S., Solodovnikov A.N. Intellectual decision support system for automated fire monitoring in technical systems // Modeling of systems and processes, Scientific and Technical journal. 2025. Vol. 18, No. 3. p. 2. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-85-96

7. Mazurov A.A., Yagodkin A.S. A UAV control system based on computer vision with the ability to make decisions // Modeling of systems and processes, scientific and technical journal. 2026. Vol. 19, No. 1.

АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ТЕМУ «РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫЗОВА СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ»

С.Ю. Дручинин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной работе рассматривается актуальность и необходимость разработки мобильного приложения для вызова скорой медицинской помощи (СМП) путём анализа существующих исследований и разработок в рассматриваемой области. На основе полученных данных выявляются основные вопросы, проблемы и перспективы их решения, раскрывается потенциал мобильного приложения для вызова скорой медицинской помощи.

Ключевые слова: мобильное приложение, скорая медицинская помощь, анализ источников, здравоохранение, технологии.

ANALYSIS OF SCIENTIFIC SOURCES ON THE TOPIC OF DEVELOPING AN AMBULANCE CALLING APPLICATION

S.Yu. Druchinin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper addresses the relevance and necessity of developing local applications for calling emergency medical services (EMS) by analyzing scientific research and development in the field under consideration. Based on the data output, solutions to key issues, problems and their forecasts are identified, but the potential of using EMS has not yet been fully realized.

Keywords: mobile application, emergency medical services, source analysis, healthcare, technology.

Введение

В настоящее время мобильные устройства широко применяются во всех аспектах жизни человека. С помощью мобильных устройств и используемых на

них приложений, значительно улучшается качество работы в различных направлениях деятельности человека, таких как сотрудники гос. органов, водители общественного транспорта, медицинские работники, операторы служб скорой помощи и другие.

Приложение рассматривается для реализации возможности вызова скорой медицинской помощи в регионах РФ. Оно должно помочь как пользователям в контроле обслуживания вызова, так и разгрузить телефонную линию диспетчеров приёма вызовов, особенно в пиковые временные интервалы, в связи с тем, что звонок в скорую помощь не всегда подразумевает вызов бригады СМП, зачастую диспетчер приёма проводит телефонную консультацию пациента, этот факт может создать очередь на телефонной линии и людям, которым действительно требуется помощь, она может оказаться не своевременной. К примеру, в г. Воронеж по данным департамента здравоохранения Воронежской области за 2021 год среднее количество помощи при выезде составляет 721495, а количество зафиксированных обращений за тот же период – 774652. В статье Барыбиной А.З. «Разработка платформенного приложения Скорая 3.0» [1], автор предоставляет схожие данные, которые основаны на пандемии COVID-19, в ней сказано, что в связи с паническим настроением населения, количество обращений напрямую в скорую помощь было выше, что привело к трудностям в реагировании на вызовы. В качестве решения автор предлагает рассмотреть вариант предложения рекомендаций по оказанию первой медицинской помощи пациенту.

При анализе проблем с точки зрения пациента, были проведены первичные исследования и опросы потенциальных пользователей приложения. Сложностей в поисках целевой аудитории не возникло, в связи с тем, что аудитория приложения может быть разнообразной. Эта задача была возложена на коллег и знакомых. Были выявлены основные вопросы, тревожащие их. На основе полученных данных с использованием программного обеспечения «Figma» была разработана «Карта пути пользователя» (CJM), данная карта служит инструментом для анализа пользовательского опыта и выявления точек взаимодействия, а также потенциальных проблемных областей приложения.

Благодаря этим данным можно выделить основные вопросы, которые могут тревожить пользователей при работе с приложением:

- приедет ли скорая вовремя?
- получится ли быстро оформить вызов?
- смогу ли я отслеживать машину СМП?

– будет ли приложение удобным в использовании?

Таблица 2 – Карта пути пользователя CJM

	Потребо- валась скорая помощь	Нашёл приложе- ние	Скачал приложе- ние	Запустил приложе- ние	Присту- пил к оформле- нию вы- зова	Ожидаете скорую по- мощь	Потребова- лось ускоре- ние скорой помощи
Мотива- ция	Поднялось давление, снизить своими силами не удаётся	В стрессовой ситуации сложно говорить и чётко формулировать мысли	В стрессовой ситуации сложно говорить и чётко формулировать мысли	В стрессовой ситуации сложно говорить и чётко формулировать мысли	В стрессовой ситуации сложно говорить и чётко формулировать мысли	В стрессовой ситуации сложно говорить и чётко формулировать мысли	Стало хуже, нужно сообщить об этом диспетчеру СМП чтобы ускорить бригаду
Ожидае- мый ре- зультат	Дождаться приезда бригады СМП, которая стабилизирует состояние и снизит тревогу	Иметь под рукой понятный инструмент для экстренного вызова без лишних действий	Приложение быстро скачается и установится на устройстве	Приложение будет быстро интуитивно понятным и удобным в использовании	Вызов бригады СМП не будет занимать много времени	Смогу контролировать статусы вызова и наблюдать местоположение автомобиля. Буду знать ориентировочное время прибытия бригады	В случае ухудшения состояния я смогу сообщить об этом бригаде скорой помощи.
Барьеры и их при- чины	Увидит ли скорая мой вызов, в случае его оформления через приложение?	Будет ли оформление вызова через приложение удобнее чем вызов по телефону?	Если приложение будет долго устанавливаться на мой смартфон, тогда будет проще оформить вызов по звонку.	Если в приложении будет долгий этап регистрации, будет проще оформить вызов по звонку.	Получится ли быстро оформить вызов СМП через приложение или будет легче оформить его по звонку?	Неуверен, что скорая взяла мой вызов в работу.	Получится ли мне быстро попросить об ускорении СМП в связи с ухудшением состояния?
Эмоции	Тревога	Осторожный оптимизм	Уверенность	Сосредоточенность	Контроль над ситуацией	Тревожное ожидание	Беспокойство
Точки контакта	Смартфон	App Store / Google Play	App Store / Google Play	Главный экран / экран регистрации	Форма регистрации вызова	Статус в приложении / инструкции по оказанию первой помощи	Кнопка «ухудшение состояния»

Продолжение таблицы 1

Пространство и его особенность	Дом, офис, общественное место (независимо от локации)	Дом, офис, общественное место (независимо от локации)	Дом, офис, общественное место (независимо от локации)	Дом, офис, общественное место (независимо от локации)	Дом, офис, общественное место (независимо от локации)	Дом, офис, общественное место (независимо от локации)	Дом, офис, общественное место (независимо от локации)
Решение проблемы	Необходимо убедить пользователя, что скорая увидит вызов и прибудет на место в ближайшее время	Реализовать простой и удобный интерфейс, чтобы приложением было удобно пользоваться населению любого поколения	Приложение не должно иметь большой размер, и быть «Тяжёлым» для устройства пользователя	В приложении должна быть быстрая регистрация, вызов которой должен быть максимально оперативным	Оформление вызова не должно занимать много времени, но в то же время вызов должен быть информативным для диспетчера	Уведомлять пользователя в каком статусе находится его вызов. Обеспечить пользователя возможностью отслеживать местоположение бригады СМП.	Реализовать ускорение вызова при ухудшении состояния пользователя.

Приложение должно быть не только функциональным, но и обладать удобным интерфейсом для пользователей, что является крайне важным аспектом. Удобство интерфейса напрямую влияет на пользовательский опыт, способствуя более эффективному взаимодействию с приложением. Важность интерфейса так же подчёркивает широкий диапазон возраста целевой аудитории приложения от 16 до 65 лет, он должен быть удобен и понятен для всех возрастов.

В научной статье Еруланова А.Е., Оразова А.Ж., Айдарханов Е.М, Мыктыбеков Е.Ж. «Мобильное приложение скорой медицинской помощи» [2], авторы определяют ещё одну проблему, которую требуется рассмотреть более детально. Она связана с определением геолокации места вызова. В статье приводится статистика вызовов, которые были обслужены с опозданием, одна из причин этой проблемы является – неверное указание адреса вызова. Решение данной проблемы осуществляется с помощью мобильного приложения, способного определять геолокацию как вызова, так и автомобиля службы медицинской помощи (СМП) с использованием системы глобального позиционирования (GPS). Это позволит пользователям наблюдать за местоположением бригады в режиме реального времени.

В статье В. И. Ефименков, Д. С. Кузьменков «Разработка приложения для геолокации адреса пациента и машин скорой медицинской помощи» [3] авторы так же упоминают систему ГЛОНАСС как решение проблемы определения адреса места вызова.

В момент разработки сложных медицинских информационных систем не будет лишним применять системный подход, который будет учитывать, как технологические, так и организационные аспекты функционирования службы скорой помощи [8]. Если конкретно, то использование методов ситуационного моделирования позволяет оптимизировать процессы диспетчеризации и распределения ресурсов [9]. Это особенно важно в моменты высокой нагрузки на телефонные линии. Опыт создания автоматизированных мобильных систем принятия решений в медицине [10] подтверждает перспективу возможности интеграции интеллектуальных компонентов в приложения для экстренных и неотложных вызовов СМП, например, предварительная оценка состояния пациента или рекомендации по первой помощи.

Стоит добавить, что при разработке такие приложения обязательно должны регулироваться в рамках существующего правового поля, которое регулирует оказание скорой медицинской помощи в Российской Федерации [7], включая Порядок оказания скорой помощи [4], стратегию развития здравоохранения [5] и Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан» [6].

Заключение

Применение приложения для вызова скорой медицинской помощи, может существенно облегчить нагрузку как на диспетчеров по приёму вызовов, так и на водителей автомобиля СМП. Для успешной реализации данной инициативы необходимо убедить граждан использовать приложение. В связи с этим требуется разработать не только функциональное решение, но и обеспечить наличие качественного, а также удобного интерфейса, который будет соответствовать всем требованиям пользователей. Такой подход повысит вовлеченность и удовлетворенность пользователей, что, в свою очередь, обеспечит широкое распространение и применение.

Список литературы

1. Барыбина А. З. Разработка платформенного приложения «Скорая 3.0» // Вестник университета. – 2022. – № 12. – С. 72–82.

2. Еруланов А. Е., Оразова А. Ж., Айдарханов Е. М., Мыктыбеков Е. Ж. Мобильное приложение скорой медицинской помощи // Наука, техника и образование. – 2019. – С. 12–15.
3. Ефименков В. И., Кузьменков Д. С. Разработка приложения для геолокации адреса пациента и машин скорой медицинской помощи // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях. – 2019. – С. 233–234.
4. Об утверждении Порядка оказания скорой, в том числе скорой специализированной, медицинской помощи : приказ Минздрава России от 20.06.2013 № 388н : ред. от 21.02.2020 // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_151082/.
5. Стратегия развития здравоохранения в Российской Федерации на период до 2025 года : распоряжение Правительства РФ от 28.11.2020 № 3155-р. – URL: <http://static.government.ru/media/files/WwKNnQmUhrJRHUq2eKwPzPEPERDTm8TS.pdf>.
6. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации : федер. закон Рос. Федерации от 21.11.2011 № 323-ФЗ : последняя редакция // КонсультантПлюс : [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/.
7. Министерство здравоохранения Российской Федерации : офиц. сайт // Минздрав России : [сайт]. – URL: <https://minzdrav.gov.ru>.
8. Коробова Л. А., Эйнуллаев Т. А. О., Тэн Р. В. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52-61.
9. Сумин В. И., Кравченко А. С., Толкачев А. В. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79.
10. Арапов Д. В., Курицын В. А., Скоробогатов С. А. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7-16.

References

1. Barybina A. Z. Development of the platform application “Ambulance 3.0” // University Bulletin. – 2022. – No. 12. – P. 72–82.

2. Erulanov A. E., Orazova A. Zh., Aidarkhanov E. M., Myktybekov E. Zh. Mobile application for emergency medical services // Science, Technology and Education. – 2019. – P. 12–15.
3. Efimenkov V. I., Kuzmenkov D. S. Development of an application for geolocation of patient addresses and ambulance vehicles // New Mathematical Methods and Computer Technologies in Design, Production and Scientific Research. – 2019. – P. 233–234.
4. On approval of the procedure for providing emergency, including specialized, medical care : order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated 06/20/2013 No. 388n : ed. from 02/21/2020 // ConsultantPlus : [website]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_151082/.
5. Strategy for the development of healthcare in the Russian Federation for the period up to 2025 : Decree of the Government of the Russian Federation dated 11/28/2020 No. 3155-r. – URL: <http://static.government.ru/media/files/WwKNnQmUhrJRHUq2eKwPzPEPERDTm8TS.pdf>.
6. On the basics of public health protection in the Russian Federation : feder. The law grew. Russian Federation No. 323-FZ dated 11/21/2011 : latest edition // ConsultantPlus : [website]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/.
7. Ministry of Health of the Russian Federation : official. website // Ministry of Health of Russia : [website]. – URL: <https://minzdrav.gov.ru>.
8. Korobova L. A., Eynullaev T. A. O., Ten R. V. A systematic approach to solving applied medical diagnostic problems // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 52-61.
9. Sumin V. I., Kravchenko A. S., Tolkachev A. V. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 71-79.
10. Arapov D. V., Kuritsyn V. A., Skorobogatov S. A. Automated mobile decision-making system for use in special medicine // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 7-16.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СИСТЕМОЙ СКОРОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

С.Ю. Дручинин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматриваются ключевые факторы проектирования пользовательского интерфейса мобильного приложения для взаимодействия с системой скорой медицинской помощи. Описаны методы исследования, позволяющие определить состав и целесообразность функциональных модулей. Выделены вопросы, влияющие на удобство и эффективность взаимодействия пользователей, не всегда очевидные на ранних этапах проектирования.

Ключевые слова: мобильное приложение, скорая медицинская помощь, анализ дизайна UX и UI, здравоохранение, технологии.

DESIGNING THE USER INTERFACE OF A MOBILE APPLICATION FOR INTERACTION WITH THE EMERGENCY MEDICAL SERVICES SYSTEM

S.Yu. Druchinin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper explores key factors and features in designing the user interface of a mobile application for emergency medical services. It outlines research methods to determine the structure and relevance of the app's functional modules within a specialized domain. It also highlights usability and efficiency issues in user interaction that may not be evident at early design stages.

Keywords: mobile application, emergency medical services, source analysis, healthcare, technology.

Введение

В последние годы мобильные приложения стали привычным инструментом коммуникации между пациентами и медицинскими службами [5].

Эффективность таких цифровых решений во многом определяется качеством проработки пользовательского интерфейса [1]. Когда речь идёт о системе скорой помощи, недостаточно просто реализовать функционал - важно понимать, кто именно будет пользоваться приложением, в каком состоянии и в каких условиях. Именно поэтому UX- и UI-проектирование здесь выходит на первый план. Следование базовым принципам интерфейсного дизайна позволяет сделать взаимодействие более предсказуемым, быстрым и интуитивно понятным для человека в стрессовой ситуации.

Основная часть

В последние годы мобильные приложения в медицине стали не просто дополнительным каналом связи, а полноценным рабочим инструментом. От того, насколько продуман их интерфейс, напрямую зависит, сможет ли пользователь быстро получить помощь [4]. По данным зарубежных исследований, средний уровень удобства медицинских приложений по шкале System Usability Scale (SUS) колеблется в пределах 76–95 баллов из 100, что лишний раз подтверждает: UX/UI-дизайн здесь играет далеко не последнюю роль [3]. При этом более 60 % выявленных недостатков относят к категории серьёзных или критических, и это заставляет внимательнее относиться к каждому этапу проектирования [6].

Когда речь заходит об интерфейсе приложения для вызова скорой помощи, на первый план выходят две вещи: снижение зрительной нагрузки и интуитивная понятность. Аудитория таких сервисов разнородна – это люди разного возраста, образования, с разным опытом использования цифровых продуктов, и обращаются они за помощью часто в состоянии стресса [7]. Значит, интерфейс должен быть универсальным, простым, но при этом не примитивным. Хороший UX/UI – это не только про «красивую картинку», это прежде всего про сценарии, контексты и особенности восприятия [8].

Проектирование обычно начинается с формирования так называемого ядра ассоциаций. Этот этап помогает определить, какие смыслы и эмоции должен вызывать продукт. Для медицинского приложения такими опорами чаще всего становятся надёжность, прозрачность и спокойствие [10]. Ассоциативный каркас задаёт направление и не даёт разойтись визуальным и функциональным решениям на поздних стадиях разработки.

Не менее важен и бриф. В нём фиксируют цели продукта, портрет аудитории, ключевые ограничения и требования [2]. Бриф – это не формальность, а рабочий документ, который удерживает команду в едином смысловом поле и помогает выстроить навигацию так, чтобы приоритетные действия совершались почти автоматически.

На этапе поиска визуального языка удобно использовать мудборды. Подборка цветов, шрифтов, графических элементов и стилистических решений позволяет сохранить целостность интерфейса и избежать лишних правок уже на стадии прототипов.

Полезно смотреть и по сторонам – изучать существующие аналоги. Анализ референсов даёт возможность подсмотреть удачные паттерны, адаптировать их под свою задачу и, что не менее важно, не наступать на чужие грабли [9].

Все перечисленные инструменты в совокупности позволяют выстроить внятный и обоснованный процесс проектирования. А значит – сделать приложение не просто рабочим, а действительно удобным для того, кто в критической ситуации доверяет ему своё здоровье.

Таблица 3 – инструменты проектирования дизайна

Инструмент проектирования	Цель использования	Этап проектирования	Влияние на пользовательский интерфейс
Ядро ассоциаций	Формирование ключевых эмоциональных и смысловых характеристик приложения	Концептуальный этап	Определение общего направления визуального и смыслового оформления интерфейса
Бриф продукта	Фиксация целей, задач и требований к приложению	Подготовительный этап	Обоснование структуры интерфейса и приоритетных пользовательских действий
Мудборд	Визуализация стилистических и дизайнерских решений	Этап разработки концепции дизайна	Обеспечение визуальной целостности и единообразия интерфейса
Референсы и стилистика	Анализ существующих интерфейсных решений и паттернов	Аналитический и проектный этап	Использование проверенных UX/UI-паттернов и повышение удобства взаимодействия

Заключение

Спроектировать интерфейс для медицинского приложения – значит заранее ответить на вопросы, которые возникнут у пользователя в стрессе: «Где

кнопка?», «Всё ли я сделал правильно?», «Приедет ли помощь?». Хороший UX/UI снимает эти вопросы ещё до того, как они прозвучали. Чтобы этого добиться, недостаточно просто нарисовать красивые экраны. Нужно с самого начала понимать, кто, зачем и в каких обстоятельствах будет открывать приложение. Именно для этого нужны ассоциативные карты, брифинг, визуальные мудборды и изучение аналогов. Это не «бумажная работа», а фундамент, на котором держится вся логика навигации и визуальный язык. Если он заложен правильно, интерфейс получается не только удобным, но и «своим» – вызывающим доверие ещё до первого клика.

Список литературы

1. Хворост В. С., Шутько Н. П. Анализ подходов к пониманию пользовательского опыта и пользовательского интерфейса (UX/UI). // Материалы 83-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). – 2019. – С. 7 – 8.
2. Шаманц В.Р. Пользовательский опыт и интерфейсы: ключевые аспекты UX и UI – дизайна // Современные информационные технологии. – 2024. – С. 122–126.
3. Твердохлебова М. Д., Никишкин В. В., Зиновьева Т. М. Удобство использования (юзабилити) цифровых сервисов: методы оценки и проектирования // Креативная экономика. – 2018. – Т. 12, № 5. – С. 693–706.
4. Барыбина А. З. Разработка платформенного приложения «Скорая 3.0» // Вестник университета. – 2022. – № 12. – С. 72–82.
5. Еруланов А. Е., Оразова А. Ж., Айдарханов Е. М., Мыктыбеков Е. Ж. Мобильное приложение скорой медицинской помощи // Наука, техника и образование. – 2019. – № 4. – С. 12–15.
6. Как проектировать медицинские приложения: UX/UI, который работает для пациентов // Workspace. – 2025. – URL: (дата обращения: 15.01.2026).
7. UX/UI-дизайн мобильных приложений в здравоохранении // CyberLeninka: научная электронная библиотека. – URL: (дата обращения: 15.01.2026).
8. Коробова Л. А., Эйнуллаев Т. А. О., Тэн Р. В. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52-61.

9. Сумин В. И., Кравченко А. С., Толкачев А. В. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79.

10. Арапов Д. В., Курицын В. А., Скоробогатов С. А. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7-16.

References

1. Khvorost, V. S., & Shutko, N. P. (2019). Analysis of approaches to understanding user experience and user interface (UX/UI). In Proceedings of the 83rd Scientific and Technical Conference of the Teaching Staff, Researchers and Postgraduate Students (with international participation). –Pp. 7–8.

2. Shamants, V. R. (2024). User experience and interfaces: Key aspects of UX/UI design. Modern Information Technologies. –Pp. 122–126.

3. Tverdokhlebova M. D., Nikishkin V. V., Zinovieva T. M. Usability of Digital Services: Evaluation and Design Methods. Creative Economy, 2018, vol. 12, no. 5, pp. 693–706.

4. Barybina A. Z. Development of the Platform Application “Ambulance 3.0”. University Bulletin, 2022, no. 12, pp. 72–82.

5. Erulanov A. E., Orazova A. Zh., Aidarkhanov E. M., Myktybekov E. Zh. Mobile Application for Emergency Medical Services. Science, Technology and Education, 2019, no. 4, pp. 12–15.

6. How to Design Medical Applications: UX/UI That Works for Patients. Workspace, 2025. Available at: (accessed 15 January 2026).

7. UX/UI Design of Mobile Healthcare Applications. CyberLeninka: Open Scientific Library. Available at: (accessed 15 January 2026).

8. Korobova L. A., Eynullaev T. A. O., Ten R. V. A Systematic Approach to Solving Applied Medical Diagnostic Problems. Modeling of Systems and Processes, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 52–61.

9. Sumin V. I., Kravchenko A. S., Tolkachev A. V. The Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems. Modeling of Systems and Processes, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 71–79.

10. Arapov D. V., Kuritsyn V. A., Skorobogatov S. A. Automated Mobile Decision-Making System for Use in Special Medicine. Modeling of Systems and Processes, 2024, vol. 17, no. 3, pp. 7–16.

АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

И.Н. Занин¹, Ю.О. Авилов¹, Н.Ю. Заленская¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится систематический обзор современных подходов к интеграции искусственного интеллекта, интернета вещей и технологий анализа больших данных в архитектуру информационных систем. Рассматривается эволюционная роль машинного обучения как ядра интеллектуальных систем и проблемы безопасности, конфиденциальности и масштабируемости, которые определяют направления дальнейших исследований в области построения самообучающихся систем. Статья носит обзорный характер и предназначена для исследователей, занимающихся проектированием сложных информационных систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, интернет вещей, архитектура информационных систем.

ANALYSIS OF ARCHITECTURAL MODELS FOR INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE, THE INTERNET OF THINGS, AND BIG DATA TECHNOLOGIES IN MODERN INFORMATION SYSTEMS

I.N. Zanin¹, O.Yu. Avilov¹, N.Y. Zalenskaya¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article provides a systematic review of modern approaches to integrating artificial intelligence, the Internet of Things, and big data analysis technologies into information system architecture. It examines the evolutionary role of machine learning as the core of intelligent systems and the issues of security, privacy, and scalability that define future research directions in building self-learning systems. The article is a review and is intended for researchers involved in the design of complex information systems.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, Internet of Things, information system architecture.

Введение

Современный этап цифровой трансформации характеризуется переходом от автоматизации рутинных операций к созданию комплексных киберфизических систем способных к адаптации, прогнозированию и автономному принятию решений. Традиционные информационные системы, основанные на жесткой логике, достигают предела своей эффективности в условиях экспоненциального роста объема, скорости и разнообразия информации [14]. Главной причиной этой трансформации является распространение интернета вещей как источника первичных данных, развитие методов искусственного интеллекта и машинного обучения для извлечения знаний и формирования решений, а также появления масштабируемых платформ для распределенной обработки больших данных.

Машинное обучение как системообразующий компонент интеллектуальных информационных систем

Искусственный интеллект, и в особенности машинное обучение, перестали быть лишь инструментами аналитики, в контексте современных информационных систем они представляют собой системообразующий компонент, определяющий поведение всей системы. Причина этого заключается в переходе от дескриптивной и диагностической аналитики к прогнозной и прескриптивной аналитике. Это превращает информационную систему из пассивного регистратора событий в активного участника бизнес-процессов [3].

Таким образом в архитектуре конвергентной системы задачи машинного обучения можно классифицировать по нескольким ключевым направлениям:

1. Прогнозирующая аналитика и обнаружение аномалий.
2. Обработка мультимодальных данных.
3. Оптимизация и принятие решений.

Управление жизненным циклом машинного обучения и модели обработки потоков IoT-данных

Критическим аспектом интеграции является смещение фокуса с единичной модели к жизненному циклу машинного обучения. Внедрение искусственного интеллекта в промышленную информационную систему требует создания ин-

фраструктуры для непрерывного развертывания, мониторинга данных и её автоматического переобучения, с последующим повторным развертыванием [1]. Таким образом в архитектуру должна быть встроена не статическая модель, а целый контур управления интеллектуальной системой.

IoT-устройства формируют экосистему распределенных источников данных, кардинально отличающуюся от традиционных баз данных. Их ключевые особенности – это масштаб, гетерогенность, потоковый характер генерации информации и зачастую ограниченные вычислительные ресурсы. [2]

Для интеграции этого потока данных в информационную систему применяются несколько базовых архитектурных паттернов обработки информации:

Во-первых, это централизованная облачная обработка, в которой все сырые данные передаются через сеть в центральное облако или дата-центр для последующей обработки и анализа, такой подход прост в реализации, но обладает рядом недостатков, а именно высокой задержкой и экстремальной нагрузкой на каналы связи. [9]

Во-вторых, это граничные и туманные вычисления, в которых данные обрабатываются как можно ближе к источнику их возникновения, то есть на самом устройстве или на локальном шлюзе. На этом уровне выполняются критически важные операции, такие как первичная фильтрация и агрегация данных, предобработка данных, а также выполнение простых, но требующих малой задержки моделей машинного обучения, но ключевой функцией является наличие возможности принятия локальных решений в условиях обрыва связи с центром. [8]

В-третьих, потоковая обработка, которая позволяет анализировать данные в реальном времени, то есть непрерывным потоком, однако для работы этого архитектурного паттерна необходимо использовать специализированные фреймворки, которые образуют своего рода «артериальную систему» конвергентной информационной системы. Позволяя тем самым применять к потоку событий сложные правила, такие как окна агрегации и в реальном времени направлять результаты обработки ML-моделям для немедленного реагирования. [15]

Интеграция разнородных компонентов в информационную систему требует перехода от монолитной архитектуры к гибкой, то есть декомпозированной архитектуре. Таким образом микросервисная архитектура стала де-факто стандартом, позволяя независимо разрабатывать, развертывать и масштабировать каждый функциональный компонент информационной системы.

Для обеспечения реактивности и связанности между микросервисами ключевую роль играет событийно-ориентированная архитектура, в которой IoT-

устройства и датчики выступают в роли издателей событий, далее эти события помещаются в брокер сообщений, после чего подписчики, которыми являются различные микросервисы, включая ML-модели получают интересующие их события и реагируют на них новые события и действия.

Микросервисная и событийно-ориентированная архитектура как каркас интеграции.

На основе анализа вышеперечисленного можно предложить следующую обобщенную эталонную архитектуру интеллектуальной информационной системы.



Рисунок 1 – Обобщенная схема эталонной архитектуры конвергентной информационной системы

Стоит отметить, что построение и эксплуатация конвергентных информационных систем сталкивается с рядом проблем.

Во-первых, это вопросы безопасности и конфиденциальности данных, а именно обеспечение безопасной идентификации и аутентификации миллиардов устройств, шифрование данных при передаче, и на устройствах, защита ML-моделей от атак. Особенно остро проблема конфиденциальности проявляется при обработке персональных или биометрических данных, одним из вариантов решения данной проблемы является федеративное обучение, позволяющее обучать

глобальную ML-модель на децентрализованных данных, не выгружая их с устройств пользователей. [13]

Так же нельзя исключать проблему масштабируемости и вопросы управления жизненным циклом информационной системы, так как необходимо организовать порядок миллионов подключений, осуществлять балансировку нагрузки между граничными и облачными ресурсами, контролировать автоматическое масштабирование инфраструктуры под изменяющуюся нагрузку. Всё это требует сложных систем управления. [14]

В заключении отметим проблему качества данных и их семантической совместимости. Важно понимать, что эффективность искусственного интеллекта напрямую зависит от качества данных, а в гетерогенной IoT-среде довольно сложно обеспечить согласованность, полноту и точность данных поступающих с тысяч источников информации, а отсутствие единых стандартов описания данных затрудняет их автоматическую интерпретацию и интеграцию разными сервисами. [7]

Заключение

Конвергенция технологий ИИ, IoT и анализа данных знаменует рождение нового класса информационных систем – интеллектуальных киберфизических систем. Эти системы характеризуются способностью воспринимать физический мир через сеть сенсоров, анализировать его состояние с помощью машинного обучения и оказывать на него обратное воздействие через исполнительные механизмы, функционируя в непрерывном адаптивном цикле [10].

Проведенный обзор позволил выделить ключевые архитектурные принципы их построения, такие как многоуровневая обработка данных с акцентом на граничные вычисления, декомпозиция на слабосвязанные микросервисы, коммуникация через события, однако успешная реализация этих принципов упирается в необходимость решения фундаментальных проблем безопасности, масштабируемости и управления качеством данных.

Список литературы

7. Антипко А.В. Интернет вещей: его роль в умных городах и быту, тренды и инновации // Молодой ученый. - 2023. - №33 (480). - С. 16-17.
8. Белодед Н.И., Маршалова Д.В. Развитие интернета вещей (IoT) и его влияние на обмен информацией и технологический прогресс // Сборник статей Международной научно-практической конференции. Задачи и возможности

международного трансфера инновационных технологий. - Уфа: ООО "Омега сайнс", 2024. - С. 29-30.

9. Босов А.Е., Ищанов Т.Р. Машинное обучение и дискретная математика: как использование комбинаторики и теории графов улучшает производительность алгоритмов машинного обучения // Материалы XVII Международной научно-практической конференции молодых исследователей. Наука и молодёжь: новые идеи и решения. - Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2023. - С. 193-194.

10. Ефимов Д.А., Косилова Е.А., Марухленко А.Л. Интернет вещей: как управлять умным домом через интернет // сборник научных статей 3-й Всероссийской научно-технической конференции. Современные информационные технологии и информационная безопасность. - Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. - С. 54-58.

11. Зольников В.К., Сазонова С.А., Заревич А.И., Башун С.С. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам // Моделирование систем и процессов. - 2025. - №2 т. 18. - С. 27-40.

12. Зольников К.В., Шеховцов Д.В., Махиборода М.А., Оксюта О.В., Мещерякова А.А. Системное моделирование и разработка протоколов информационного взаимодействия блоков в программно-аппаратном комплексе САПР // Моделирование систем и процессов. - 2025. - №2 т. 18. - с. 53-62.

13. Кошелева М.С., Орешков В.И. Применение технологий машинного обучения при построении интеллектуальных цифровых двойников с использованием моделей машинного обучения // Материалы XXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Новые информационные технологии в научных исследованиях. - Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, 2025. - С. 203-206.

14. Маркин Д.С., Ломовцева Н.В. Интернет вещей vs интернет поведения: тренды цифрового мира // сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Министерство просвещения Российской Федерации. Техническое регулирование в едином экономическом пространстве. - Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2023. - С. 227-229.

15. Полуэктов А.В., Попова Е.А., Журавлева И.В. Большие данные (Big Data): обработка, хранение и анализ больших объемов данных // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Перспективные аспекты моделирования систем и процессов. - Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. - С. 368-374.
16. Поляков С.И., Акимов В.И., Полуказаков А.В. Интеллектуальное управление зданием и подразделениями "умного дома" // Моделирование систем и процессов. - 2025. - №1 т. 18. - с. 59-70.
17. Тагаева С.Н., Гатиятуллина Э.М. Большие данные и персональные данные: правовая природа и вопросы регулирования // Цифровое право. - 2024. - №2 т. 5. - С. 40-52.
18. Татаринцов К.А., Аникиенко Н.Н., Савченко И.А., Музыка С.М. Интернет вещей как основа индустрии 4.0 // Экономика и предпринимательство. - 2023. - №5 (154) . - С. 770-773.
19. Титов М.Ю., Скворцова Т.В. Применение математических моделей процесса обучения нейронной сети для контроля защищённости от кибератак // Моделирование систем и процессов. - 2025. - №3 т. 18. - с. 114-120.
20. Фатеев А.Е. Современный этап развития технологии интернета вещей (IoT) // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Устойчивое развитие общества: новые научные подходы и исследования". - Москва: Центр развития образования и науки, 2023. - С. 163-173.
21. Чернышев Я.Р., Титовская Н.В. Применение озера данных для хранения и эффективной аналитики больших данных // Материалы XIX Всероссийской студенческой научной конференции. Студенческая наука - Взгляд в будущее. - Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. - С. 340-345.
22. Шириков М.С Будущее интернета в мире интернета вещей // сборник статей Международной научно-практической конференции. Современные исследования: созидательное развитие. - Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. - С. 102-105.

References

1. Antipko A.V. Internet veshchei: ego rol' v umnykh gorodakh i bytu, trendy i innovatsii [Internet of Things: Its role in smart cities and everyday life, trends and innovations] // Molodoy uchenyy. - 2023. - No. 33 (480). - Pp. 16-17.

2. Beloded N.I., Marshalova D.V. Razvitie interneta veshchei (IoT) i ego vliyanie na obmen informatsiei i tekhnologicheskii progress [Development of the Internet of Things (IoT) and its impact on information exchange and technological progress] // Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Zadachi i vozmozhnosti mezhdunarodnogo transfera innovatsionnykh tekhnologii". - Ufa: OOO "Omega Sayns", 2024. - Pp. 29-30.
3. Bosov A.E., Ishchanov T.R. Mashinnoe obuchenie i diskretnaya matematika: kak ispol'zovanie kombinatoriki i teorii grafov uluchshaet proizvoditel'nost' algoritmov mashinnogo obucheniya [Machine learning and discrete mathematics: how the use of combinatorics and graph theory improves machine learning algorithm performance] // Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh issledovatelei "Nauka i molodyozh': novye idei i resheniya". - Volgograd: Volgogradskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2023. - Pp. 193-194.
4. Efimov D.A., Kosilova E.A., Marukhnenko A.L. Internet veshchei: kak upravlyat' umnym domom cherez internet [Internet of Things: How to manage a smart home via the internet] // Sbornik nauchnykh statei 3-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Sovremennye informatsionnye tekhnologii i informatsionnaya bezopasnost'". - Kursk: ZAO «Universitetskaya kniga», 2024. - Pp. 54-58.
5. Zolnikov V.K., Sazonova S.A., Zarevich A.I., Bashun S.S. Issledovanie sposobov zashchity informatsii ot utechki po akusticheskomu i vibroakusticheskomu kanalam [Study of methods for protecting information from leakage via acoustic and vibroacoustic channels] // Modelirovanie sistem i protsessov. - 2025. - No. 2, Vol. 18. - Pp. 27-40.
6. Zolnikov K.V., Shekhovtsov D.V., Makhiboroda M.A., Oksyuta O.V., Meshcheryakova A.A. Sistemnoe modelirovanie i razrabotka protokolov informatsionnogo vzaimodeistviya blokov v programmno-apparatnom komplekse SAPR [System modeling and development of information interaction protocols for modules in a CAD software-hardware complex] // Modelirovanie sistem i protsessov. - 2025. - No. 2, Vol. 18. - Pp. 53-62.
7. Kosheleva M.S., Oreshkov V.I. Primenenie tekhnologii mashinnogo obucheniya pri postroenii intellektual'nykh tsifrovyykh dvoinikov s ispol'zovaniem modeli mashinnogo obucheniya [Application of machine learning technologies in building intelligent digital twins using machine learning models] // Materialy KKhKh Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, molodykh uchenykh i spetsialistov "Novye informatsionnye tekhnologii v nauchnykh issledovaniyakh". -

Ryazan: Ryazanskii gosudarstvennyi radiotekhnicheskii universitet im. V.F. Utkina, 2025. - Pp. 203-206.

8. Markin D.S., Lomovtseva N.V. Internet veshchei vs internet povedeniya: trendy tsifrovogo mira [Internet of Things vs. Internet of Behavior: Trends of the digital world] // Sbornik statei X Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Ministerstvo prosveshcheniya Rossiiskoi Federatsii. Tekhnicheskoe regulirovanie v edinom ekonomicheskom prostranstve". - Yekaterinburg: Rossiiskii gosudarstvennyi professional'no-pedagogicheskii universitet, 2023. - Pp. 227-229.

9. Poluektov A.V., Popova E.A., Zhuravleva I.V. Bol'shie dannye (Big Data): obrabotka, khranenie i analiz bol'shikh ob'emov dannykh [Big Data: processing, storage, and analysis of large data volumes] // Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Perspektivnye aspekty modelirovaniya sistem i protsessov". - Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet im. G.F. Morozova, 2023. - Pp. 368-374.

10. Polyakov S.I., Akimov V.I., Polukazakov A.V. Intellektual'noe upravlenie zdaniem i podrazdeleniyami "umnogo doma" [Intelligent building and "smart home" unit management] // Modelirovanie sistem i protsessov. - 2025. - No. 1, Vol. 18. - Pp. 59-70.

11. Tagaeva S.N., Gatiatullina E.M. Bol'shie dannye i personal'nye dannye: pravovaya priroda i voprosy regulirovaniya [Big Data and personal data: legal nature and regulatory issues] // Tsifrovoe pravo. - 2024. - No. 2, Vol. 5. - Pp. 40-52.

12. Tatarinov K.A., Anikienko N.N., Savchenko I.A., Muzyka S.M. Internet veshchei kak osnova industrii 4.0 [The Internet of Things as the foundation of Industry 4.0] // Ekonomika i predprinimatel'stvo. - 2023. - No. 5 (154). - Pp. 770-773.

13. Titov M.Yu., Skvortsova T.V. Primenenie matematicheskikh modelei protsessa obucheniya neironnoi seti dlya kontrolya zashchishchennosti ot kiberatak [Application of mathematical models of the neural network training process for controlling cybersecurity against cyberattacks] // Modelirovanie sistem i protsessov. - 2025. - No. 3, Vol. 18. - Pp. 114-120.

14. Fateev A.E. Sovremennyyi etap razvitiya tekhnologii interneta veshchei (IoT) [The current stage of Internet of Things (IoT) technology development] // Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Ustoychivoe razvitie obshchestva: novye nauchnye podkhody i issledovaniya". - Moscow: Tsentr razvitiya obrazovaniya i nauki, 2023. - Pp. 163-173.

15. Chernyshev Ya.R., Titovskaya N.V. Primenenie ozera dannykh dlya khraneniya i effektivnoi analitiki bol'shikh dannykh [Application of a data lake for storage and efficient analytics of big data] // Materialy KhIKh Vserossiiskoi studentcheskoi nauchnoi konferentsii "Studentcheskaya nauka - Vzglyad v budushchee". - Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy gosudarstvennyi agrarniy universitet, 2024. - Pp. 340-345.

16. Shirikov M.S. Budushchee interneta v mire interneta veshchei [The future of the internet in the world of the Internet of Things] // Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennye issledovaniya: sozidatel'noe razvitiye". - Petrozavodsk: Mezhdunarodnyi tsentr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka», 2023. - Pp. 102-105.

КОНТЕНТ-БАЗИРОВАННАЯ И КОЛЛАБОРАТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИИ КАК МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Е.А. Злобин¹, А.С. Кравченко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной статье рассматриваются принципы построения персональных рекомендательных систем на основе двух фундаментальных подходов: контент-базированной и коллаборативной фильтрации. В условиях информационного перенасыщения и растущих ожиданий пользователей персонализация становится критически важным элементом цифровых продуктов, будь то стриминговые сервисы, интернет-магазины или новостные платформы. Эффективные рекомендательные алгоритмы позволяют не только повышать вовлечённость и конверсию, но и формировать более осмысленный и разнообразный пользовательский опыт. В работе подробно анализируются математические основы, сильные и слабые стороны каждого из подходов, их эволюция под влиянием современных методов машинного обучения, а также практические аспекты внедрения, включая учёт контекста, оценку качества и этические вызовы. Особое внимание уделяется гибридным архитектурам, которые объединяют преимущества обоих методов для достижения максимальной релевантности и устойчивости рекомендаций.

Ключевые слова: рекомендательные системы, контент-базированная фильтрация, коллаборативная фильтрация, персонализация, машинное обучение, пользовательский опыт.

CONTENT-BASED AND COLLABORATIVE FILTERING AS METHODS FOR BUILDING PERSONALIZED RECOMMENDER SYSTEMS

E.A. Zlobin¹, A.S. Kravchenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the principles underlying the design of personalized recommender systems based on two fundamental approaches: content-based filtering and collaborative filtering. In an era of information overload and rising user expectations, personalization has become a

critical component of digital products whether streaming services, e-commerce platforms, or news aggregators. Effective recommendation algorithms not only enhance user engagement and conversion rates but also foster a more meaningful and diverse user experience. The paper provides a detailed analysis of the mathematical foundations, strengths, and limitations of each approach, their evolution under the influence of modern machine learning techniques, and practical implementation considerations including contextual awareness, quality evaluation, and ethical challenges. Special emphasis is placed on hybrid architectures that combine the advantages of both methods to achieve maximum relevance and robustness in recommendations.

Keywords: recommender systems, content-based filtering, collaborative filtering, personalization, machine learning, user experience.

Введение

В эпоху информационного перенасыщения пользователям всё труднее самостоятельно находить действительно интересный и полезный контент. Именно поэтому персонализированные рекомендательные системы стали частью цифровых сервисов – от стриминговых платформ до интернет-магазинов [1]. В основе их работы лежат сложные алгоритмы, но большинство из них строятся на двух базовых подходах: контент-базированной и коллаборативной фильтрации.

Хотя оба метода преследуют одну цель – предугадать, что заинтересует пользователя, они делают это по-разному. Первый ориентируется на свойства самого контента и индивидуальную историю пользователя, второй – на коллективное поведение множества пользователей. В этой статье будет рассмотрено, как устроены эти подходы, в чем их сильные и слабые стороны, как они развиваются под влиянием новых технологий и какие вызовы стоят перед ними сегодня [2].

Контент-базированная фильтрация: персонализация через признаки

Суть контент-базированной фильтрации заключается в том, чтобы рекомендовать пользователю объекты, похожие на те, с которыми он уже взаимодействовал. Здесь всё строится на анализе характеристик самих объектов, например, жанр фильма или тематика статьи [3].

Каждый объект представляется в виде вектора признаков $x_i \in R^d$. Пользователь, в свою очередь, описывается профилем предпочтений p_u , который формируется на основе его прошлых действий. Релевантность объекта определяется через схожесть этих двух векторов. Чаще всего используется косинусное сходство:

$$score(u, i) = \frac{p_u * x_i}{\|p_u\| * \|x_i\|}$$

Чем ближе значение к единице, тем выше вероятность, что объект интересен пользователю. Профиль пользователя не фиксирован, он постоянно обновляется. Например, после положительной оценки нового фильма профиль корректируется в сторону его признаков:

$$p_u^{\text{новый}} = a * p_u^{\text{старый}} + (1 - a) * x_i$$

Здесь $a \in [0, 1]$ – коэффициент забывания. При a близком к 1 профиль меняется медленно, сохраняя стабильность и устойчивость к шуму. При малых значениях система быстро адаптируется к новым интересам, но рискует переоценить единичные, случайные взаимодействия.

На практике современные системы используют более сложные стратегии:

- Взвешенное обновление. Современные рекомендательные системы редко рассматривают все действия пользователя как равнозначные, поскольку разные типы взаимодействий несут различную степень уверенности в истинных предпочтениях. Например, факт покупки товара или подписки свидетельствует о высокой степени заинтересованности, тогда как простой клик может быть вызван любопытством, случайностью или даже ошибкой. Чтобы учесть эту разницу, вводят систему весов: каждому типу действия присваивается коэффициент значимости, который влияет на то, насколько сильно это взаимодействие изменит профиль пользователя. Так, покупка может иметь вес 1.0, добавление в корзину – 0.7, длительный просмотр видео – 0.6, а кратковременный клик – 0.05.

- Сегментация. Один из ключевых недостатков единого глобального профиля – его неспособность отражать многогранность интересов человека, который может одновременно быть поклонником артхаусного кино, любителем тяжёлого рока и профессиональным разработчиком. Чтобы избежать смешения несопоставимых предпочтений, современные системы применяют сегментацию профиля на тематические кластеры или домены. Каждый такой кластер представляет собой независимый подпрофиль, который обновляется только на основе взаимодействий, относящихся к соответствующей категории [4].

- Временное затухание. Старые взаимодействия постепенно теряют вес, что позволяет учитывать изменение интересов со временем. Интересы людей редко остаются неизменными на протяжении месяцев или лет. Они эволюционируют под влиянием возраста, жизненных обстоятельств, культурных трендов и личного опыта. Чтобы рекомендательная система не застревала в прошлом, в неё внедряют механизм временного затухания, при котором давность взаимодействия напрямую влияет на его значимость в профиле пользователя. Обычно это

реализуется через экспоненциальное или линейное убывание веса. Действие, совершенное неделю назад, может учитываться с коэффициентом 0.9, месяц назад – с 0.6, а год назад – с 0.1. Без временного затухания профиль остается замороженным в прошлом, и рекомендации будут неактуальны.

Среди преимуществ контент-базированной фильтрации можно выделить:

- Независимость от других пользователей. Система работает даже при единственном активном пользователе, что делает ее идеальной для нишевых или приватных приложений.

- Высокая интерпретируемость. Рекомендацию легко объяснить: «Мы предлагаем этот фильм, потому что вы любите научную фантастику и режиссера Кристофера Нолана».

- Эффективность для новых объектов. Если новый фильм снабжен метаданными, его можно сразу рекомендовать заинтересованным пользователям – проблема «холодного старта» для объектов здесь почти отсутствует.

Ограничения контент-базированной фильтрации:

- Информационная ловушка. Система склонна рекомендовать только то, что уже известно пользователю, ограничивая его интересы. Это особенно опасно в новостных агрегаторах, где может усиливаться поляризация мнений.

- Зависимость от качества метаданных. Без полного и точного описания объектов метод теряет эффективность. Для пользовательского контента это часто неразрешимая проблема.

- Неспособность улавливать сложные паттерны. Например, система не сможет выявить, что пользователь любит «красивые фильмы», потому что представление о красоте очень индивидуально.

Эти ограничения делают чисто контент-базированный подход недостаточным для крупных, разнообразных платформ. Однако его сильные стороны делают его незаменимым компонентом гибридных систем.

Коллаборативная фильтрация: мудрость толпы в действии

Если контент-базированная фильтрация – это индивидуализм, то коллаборативная фильтрация – коллективизм. Она основана на простой, но мощной идее: поведение похожих людей в прошлом может предсказать поведение в будущем. Этот подход не требует никакой информации о содержании объектов. Необходимы только данные о том, как с ними взаимодействовали.

Существует два классических подхода к коллаборативной фильтрации:

– User-based (на основе пользователей). Система ищет пользователей, чьи оценки максимально коррелируют с оценками целевого пользователя. Затем предсказание строится как взвешенное среднее оценок этих «соседей».

– Item-based (на основе объектов). Система определяет, какие объекты получают схожие оценки от пользователей, и рекомендует объекты, похожие на те, что уже понравились целевому пользователю [5].

На первый взгляд, user-based подход кажется более логичным. Однако на практике item-based оказался значительно более устойчивым и масштабируемым. Причина в том, что предпочтения к объектам (например, фильмам или товарам) меняются медленнее, чем поведение пользователей. Кроме того, матрица схожести между объектами гораздо меньше и стабильнее, чем между пользователями, что упрощает хранение и вычисления.

Классические методы на основе схожести страдали от проблемы разреженности, потому что в реальных системах менее 1% возможных взаимодействий наблюдаются. Прорыв произошёл с появлением матричной факторизации, которая моделирует скрытые (латентные) факторы, лежащие в основе предпочтений.

Формально разреженная матрица рейтингов $R \in R^{m \times n}$ аппроксимируется как произведение двух плотных матриц меньшей размерности:

$$\widehat{R}_{u,i} = u_u v_i$$

Здесь $u_u \in R^k$ – латентный вектор пользователя u , $v_i \in R^k$ – латентный вектор объекта i , а $k \ll \min(m, n)$ – размерность латентного пространства (обычно от 50 до 500). Эти векторы обучаемы и могут интерпретироваться как вкусы пользователя и характеристики объекта в скрытом пространстве.

Однако в реальности явные оценки (звёздные рейтинги) встречаются нечасто. Гораздо чаще система имеет дело с неявными сигналами: кликами, просмотрами, покупками, лайками. Для работы с такими данными используется взвешенная функция потерь:

$$L = \sum_{u,i} c_{u,i} * (p_{u,i} - u_u v_i)^2 + \lambda * (\|u_u\|^2 + \|v_i\|^2)$$

Здесь $p_{u,i} = 1$, если взаимодействие произошло, и 0, если не произошло.

$c_{u,i} = 1 + a * \text{count}(u, i)$ – вес, отражающий уверенность в наблюдении. Чем чаще взаимодействие, тем выше уверенность. λ – параметр регуляции, предотвращающий переобучение.

Преимущества коллаборативной фильтрации:

- Не требует метаданных. Работает даже с чёрными ящиками, то есть с объектами, о которых ничего неизвестно, кроме поведения пользователей.

- Способна делать неожиданные, но точные рекомендации.

- Хорошо масштабируется при наличии большого объёма данных.

Недостатки коллаборативной фильтрации:

- Проблема «холодного старта». Новые пользователи и объекты без истории взаимодействия остаются невидимыми.

- Разреженность данных. Даже при миллионах пользователей матрица взаимодействия остаётся крайне разреженной, что затрудняет обучение.

- Низкая интерпретируемость. Трудно объяснить, почему именно этот объект был рекомендован.

Измерение успеха рекомендаций

Выбор метрик определяет, как будет развиваться система. Неправильный выбор может привести к локальным успехам. Система будет отлично справляться с одной задачей, но проваливать другие.

Традиционные метрики измерения успеха рекомендаций:

- RMSE (Root Mean Square Error) и MAE (Mean Absolute Error) измеряют точность предсказания рейтингов. Актуальны, когда есть явные оценки.

- Precision@K – доля релевантных объектов в топ-K рекомендаций.

Вышеупомянутые метрики хорошо работают в offline-оценке, но не всегда коррелируют с реальным поведением пользователей.

Поэтому также используются дополнительные бизнес-метрики:

- CTR (Click-Through Rate) – процент пользователей, кликнувших по рекомендации.

- Время просмотра/прослушивания – показатель глубины вовлечённости.

- Конверсия – доля пользователей, совершивших целевое действие, к примеру, покупку.

Современные вызовы и ограничения

Несмотря на успехи, рекомендательные системы сталкиваются с рядом серьёзных вызовов.

Самой очевидной является проблема «холодного старта». Для новых пользователей нет истории взаимодействия, соответственно, коллаборативная фильтрация не работает. Для новых объектов нет оценок, поэтому объект не попадает в рекомендации.

Возможные решения данной проблемы:

- Спросить у пользователя о предпочтениях при первом запуске.
- Использовать возраст, пол, геолокацию для инициализации профиля.
- Для новых объектов использовать контент-описание, пока не накопятся поведенческие данные.

Далее следует отметить проблему разреженности и масштабируемости. В крупных системах матрица взаимодействий заполнена менее чем на 0.1%. Это приводит к:

- Нестабильности оценок схожести.
- Плохой обобщающей способности моделей.
- Высоким вычислительным затратам.

Возможные решения данной проблемы:

- Регуляризация и предобучение эмбеддингов.
- Графовые нейросети, которые распространяют информацию по связям в графе взаимодействия.
- Двухступенчатые архитектуры: быстрая модель для генерации кандидатов, сложная для ранжирования.

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что эффективность современных рекомендательных систем напрямую зависит от грамотного сочетания различных алгоритмических подходов. Контент-базированная фильтрация обеспечивает высокую прозрачность и успешно решает проблему холодного старта для новых объектов, однако рискует загнать пользователя в ограничивающий «информационный пузырь». Коллаборативная фильтрация, напротив, способна выявлять скрытые закономерности поведения и предлагать неожиданные находки, но остаётся беспомощной без накопленной статистики взаимодействия.

Именно поэтому современная индустрия движется от выбора единственного метода к созданию сложных гибридных архитектур, объединяющих сильные стороны обоих подходов. Внедрение технологий глубокого обучения, графовых нейросетей и двухступенчатых схем ранжирования позволяет эффективно

преодолевать фундаментальные проблемы разреженности данных и масштабируемости. Однако техническая совершенность не должна затмевать главную цель – поиск баланса между удовлетворённостью пользователя и ключевыми бизнес-метриками.

Будущее персонализации лежит не только в повышении точности предсказаний, но и в этичности алгоритмов. Важно избегать манипуляций и усиления поляризации мнений, обеспечивая достаточное разнообразие выдачи. Таким образом, успешная рекомендательная система – это не просто математическая модель, оптимизирующая клики, а сложный адаптивный механизм. Он должен эволюционировать вместе с интересами человека в реальном времени, обеспечивая высокую релевантность контента без ущерба для разнообразия и открытости новым впечатлениям. В конечном счёте, технология служит человеку, а не наоборот. Только такой комплексный подход гарантирует долгосрочную лояльность аудитории и устойчивый рост платформы в условиях высокой конкуренции.

Список литературы

1. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.
2. Сумин, В. И. Разработка сетевой модели целевых установок сложных организационных систем специального назначения / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, С. В. Родин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85. – EDN QIRWOK.
3. Еремин О. Ю., Моркулев Д. В. Методы реализации гибридных рекомендательных систем // E-Scio. - 2023. - № 3(78). - С. 52-62. EDN: OKQQKH
4. Попков С. С., Гаврюшин А. В. Сравнительный анализ алгоритмов построения и оценка качества рекомендательных систем // Информационные технологии и математические методы в экономике и управлении (ИТиММ-2024): сб. ст. XIII Междунар. науч.-практ. конф. им. А.И. Китова: в 3 т. Москва, 14-15 марта 2024 г. - М.: Рос. экон. ун-т им. Г.В. Плеханова, 2024. - С. 64-71. EDN: HTEIXP
5. Тимофеев А.А. Механизмы работы рекомендательных систем и их применение // Материалы Всероссийской научной конференции "Социальный инженер - 2022". М., 2022. С. 7-13. EDN: LJSLSK

References

1. Sumin, V. I. Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A. V. Tolkachev // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. pp. 71-79. DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. EDN FBBHJO.
2. Sumin, V. I. Development of a Network Model of Target Settings for Complex Special-Purpose Organizational Systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, S. V. Rodin // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. pp. 79-87. DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85. EDN QIRWOK.
3. Eremin, O. Yu., & Morkulev, D. V. (2023). Methods for implementing hybrid recommender systems. E-Scio, No. 3(78), pp. 52–62. EDN OKQQKH.
4. Popkov, S. S., & Gavryushin, A. V. (2024). Comparative analysis of construction algorithms and quality assessment of recommender systems. In Information Technologies and Mathematical Methods in Economics and Management (ITiMM-2024): Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference named after A. I. Kitov (in 3 vols.), Moscow, March 14–15, 2024. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, pp. 64–71. EDN HTEIXP.
5. Timofeev, A. A. (2022). Mechanisms of recommender systems and their application. In Proceedings of the All-Russian Scientific Conference “Social Engineer – 2022”. Moscow, pp. 7–13. EDN LJSLSK.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ИНТЕРВАЛЬНОГО ПОВТОРЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ К ЭКЗАМЕНАМ

В.К. Зольников¹, В.К. Иванов¹, О.А. Авилова¹

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются направления развития специализированной платформы для оптимизации подготовки студентов к экзаменам на основе алгоритма адаптивного интервального повторения (SRS). Описаны практические улучшения системы: от базового расчёта интервалов повторения к интеллектуальной образовательной среде с персонализированными рекомендациями, аналитикой для преподавателей и интеграцией с вузовскими системами. Ключевые слова: информационная система, адаптивное повторение, интервальное обучение, искусственный интеллект в образовании, цифровая образовательная среда.

Ключевые слова: интеллектуальная система, адаптивное интервальное повторение, SRS-алгоритм, подготовка к экзаменам, персонализация обучения, искусственный интеллект в образовании, цифровая образовательная среда, аналитика для преподавателей, интеграция с LMS.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT ADAPTIVE SPACED REPETITION SYSTEM FOR STUDENT EXAM PREPARATION

V.K. Zolnikov¹, V.K. Ivanov¹, O.A. Avilova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the development directions of a specialized platform for optimizing student exam preparation based on an adaptive spaced repetition algorithm (SRS). Practical system improvements are described: from basic interval calculation to an intelligent educational environment with personalized recommendations, analytics for teachers, and integration with university systems. Keywords: information system, adaptive repetition, spaced learning, artificial intelligence in education, digital educational environment.

Keywords: intelligent system, adaptive spaced repetition, SRS algorithm, exam preparation, personalized learning, artificial intelligence in education, digital educational environment, teacher analytics, LMS integration.

Введение

Современные системы подготовки к экзаменам в вузах часто ограничиваются статичными материалами и тестами, не учитывая индивидуальные особенности запоминания. Базовая версия платформы по алгоритму в интервальном повторении (SRS) позволяет решить задачу повторения персонализированного планирования, но в дальнейшем ее дальнейшее и ее поиски развитие должны ориентироваться в сторону адаптивной экосистемы, интегрированной в учебный процесс. В условиях цифровизации высших систем образования такие системы приобретают стратегическое значение в снижении и доле пересдачи и повышении качества образования.

Технологические векторы развития

1. Умный алгоритм повторений с учётом сложности и типа материала

Сейчас система рассчитывает интервалы на основе базовых оценок ("легко/средне/сложно"). В будущем она будет использовать машинное обучение для анализа типа контента: формулы, определения или последовательности шагов. К примеру, за неделю до экзамена наш сервис сообщает: «Тебе нужно освоить интегралы и алгоритмы. Вот твой индивидуальный список повторений, где акцентируем внимание на твоих проблемных карточках». В эту систему интегрируется информация о времени и истории взаимодействий, предсказывая вероятность забывания с точностью не ниже 75%.

2. Помощь в создании и верификации контента

Студенты и преподаватели часто создают карточки вручную, рискуя ошибками. Новая версия системы сможет автоматически проверять контент: при загрузке билета она предложит добавить метки (дисциплина, тема), исправить формулы через LaTeX и сравнить с существующими колодами для избежания дубликатов. Если карточка содержит уникальные примеры, система отметит это и предложит интегрировать в официальную колоду вуза, поощряя автора баллами или бейджами.

3. Совместная работа и интеграция с LMS

Представим себе: преподаватель создаёт в Moodle колоду билетов, а система автоматически её же импортирует в адаптивное повторение через API. Студенты группы могут совместно редактировать карточки в реальном времени - добавлять пояснения, ссылки или схемы, по аналогии с Google Docs. Это делает индивидуальную подготовку коллективной, что пригодится для сложных дисциплин, где интеграция с вузовской инфраструктурой (LDAP-аутентификация, импорт списков) сделает опыт интеграцией seamless.

4. Защита от устаревания и мониторинг актуальности

Билет по программированию может устареть из-за обновлений стандартов. Система будущего будет синхронизироваться с учебными планами: при открытии карточки появится предупреждение "Этот материал обновлён в 2025г. Проверьте актуальность примеров". Для этого платформа будет использовать данные из LMS вуза и уведомлять о изменениях, автоматически корректируя интервалы повторений для обновлённого контента.

5. Мотивация через аналитику и gamification

Чтобы стимулировать использование, введём систему рейтингов: "Мастер математики" или "Лучший подготовленный студент месяца". Преподаватели увидят дашборд с тепловыми картами сложных тем, позволяющий назначать консультации. Достижения можно учитывать в портфолио или стипендиях, делая вклад в личный прогресс заметным и престижным для всей группы.

6. Выход за рамки одного вуза и масштабирование

Сейчас система ориентирована на один университет. В перспективе – межвузовская сеть: колода по экономике из ВГЛТУ станет доступна студентам аналогичных специальностей в других вузах. Для этого потребуется единая классификация дисциплин, верификация контента экспертами и B2B-модель SaaS, обеспечивающая хранение данных в РФ по ФЗ-152.

Заключение

Эволюция системы адаптивного интервального повторения – это не просто переход от простого инструмента запоминания к полноценной образовательной экосистеме.

Долгосрочная цель – это не только расчёт интервалы, а оптимизация всего учебного процесса, что снижает и нагрузку на студентов и нагрузку на преподавателей. Следующие шаги: интеграция ИИ для персонализации, аналитика для вузов, пилотные внедрения. Долгосрочная перспектива – создание единой сети для обмена лучшими практиками, с сохранением академической честности и пользовательских данных.

Список литературы

1. Стратегия формирования здорового образа жизни населения: экосистемный подход и цифровая трансформация : материалы XXII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.п.н., профессора В.Н. Зueva. – Тюмень, 2024.
2. Орлов, А. И. Искусственный интеллект: экспертные оценки : учебник / А. И. Орлов. – Москва, 2022.
3. Орлов, А. И. Теория принятия решений : учебник / А. И. Орлов. – Москва, 2022.
4. Возможности сочетания естественного и искусственного интеллектов в образовательных системах / Абдуллаева А.М., Аверченко Е.В., Александрова Т.С., Амирян И.С., Артамонова А.Г., Бетербиев Т.Б., Бойко Д.В., Бондарев А.К., Гребенюк Е.В., Гросу А., Демидова Ю.В., Джариев И.Э.О., Дубровина А.И., Жубанов М.С., Касьянов С.Н., Комиссарова С.А., Крамаров С.О., Кривицкая М.А., Летавин Д.А., Лиханова Н.В. и др. – Москва, 2023.
5. Луценко, Е. В. Революция начала XXI века в искусственном интеллекте: глубинные механизмы и перспективы / Е. В. Луценко, Н. С. Головин. – Краснодар, 2024.
6. Диагностика и учёт в образовательном процессе индивидуальных свойств обучающихся : учебное пособие / Шадриков В.Д., Гаврилова Л.В., Стюхина Г.А., Зотова Т.В., Ключева Н.Ю., Макарова К.В., Башкирова Е.Н., Абрамова М.Г., Шадрикова И.А. – Москва, 2022.

References

1. Strategy for Developing a Healthy Lifestyle for the Population: An Ecosystem Approach and Digital Transformation : Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Doctor of Pedagogical Sciences, Professor V.N. Zuev. – Tyumen, 2024.

2. Orlov, A. I. Artificial Intelligence: Expert Assessments / A. I. Orlov : Textbook. – Moscow, 2022.
3. Orlov, A. I. Decision Theory : Textbook / A. I. Orlov. – Moscow, 2022.
4. Possibilities of Combining Natural and Artificial Intelligence in Educational Systems / Abdullaeva A.M., Averchenko E.V., Aleksandrova T.S., Amiryan I.S., Artamonova A.G., Beterbiev T.B., Boyko D.V., Bondarev A.K., Grebenyuk E.V., Grosu A., Demidova Yu.V., Dzhariyev I.E.O., Dubrovina A.I., Zhubanov M.S., Kasyanov S.N., Komissarova S.A., Kramarov S.O., Krivitskaya M.A., Letavin D.A., Likhanova N.V. et al. – Moscow, 2023.
5. Lutsenko, E. V. The Revolution of the Early 21st Century in Artificial Intelligence: Deep Mechanisms and Prospects / E. V. Lutsenko, N. S. Golovin. – Krasnodar, 2024.
6. Diagnostics and accounting individual properties of students in the educational process : Textbook / Shadrikov V.D., Gavrilova L.V., Styukhina G.A., Zotova T.V., Klyueva N.Yu., Makarova K.V., Bashkirova E.N., Abramova M.G., Shadrikova I.A. – Moscow, 2022.

ПОДХОД К АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

К.Ю. Ерохина¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается подход к автоматизации проектирования учебных планов на основе онтологической модели, интегрирующей компетенции, дисциплины и профессиональные стандарты. Предложены архитектура онтологии и алгоритм семантического анализа связей для валидации структуры планов. Апробация подтвердила сокращение времени проектирования на 30–40% и повышение семантической согласованности образовательных программ.

Ключевые слова: учебный план, онтологическая модель, автоматизация проектирования, компетенции, образовательная программа, семантический анализ, интеллектуальные системы, профессиональные стандарты, формализация знаний, высшее образование.

AN APPROACH TO AUTOMATING CURRICULUM DESIGN BASED ON AN ONTOLOGICAL MODEL

K.Y. Erokhina¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses an approach to automating curriculum design based on an ontological model integrating competencies, disciplines, and professional standards. The ontology architecture and a semantic link analysis algorithm for curriculum structure validation are proposed. Experimental results demonstrate a 30–40% reduction in design time and improved semantic consistency of educational programs.

Keywords: curriculum, ontological model, design automation, competencies, educational program, semantic analysis, intelligent systems, professional standards, knowledge formalization, higher education

Введение

Современная система высшего образования функционирует в условиях высокой турбулентности внешней среды: обновление федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС), введение профессиональных стандартов, цифровая трансформация экономики требуют оперативной актуализации образовательных программ. Учебный план (УП) является ключевым документом, определяющим структуру, трудоемкость, последовательность и содержание подготовки обучающихся. Однако существующая практика проектирования УП преимущественно носит ручной характер, опирается на интуитивный опыт разработчиков и слабо формализованные методические рекомендации.

Анализ исследований в области образовательного инжиниринга (работы Е.Н. Васильевой, В.И. Загвязинского, А.А. Вербицкого) показывает, что основными недостатками традиционного подхода являются:

Высокая трудоемкость согласования дисциплин между кафедрами.

Риски потери логической преемственности дисциплин (нарушение последовательности «база – развитие – обобщение»).

Сложность верификации полноты формирования компетенций.

Инфраструктурная инертность при попытке внедрения междисциплинарных модулей.

В последние годы для решения подобных задач активно применяются методы онтологического инжиниринга. Онтологии позволяют представить знания о предметной области в виде, пригодном для машинной обработки и логического вывода. В контексте проектирования учебных планов онтологическая модель выступает как формальная спецификация концептов (дисциплин, компетенций, результатов обучения) и отношений между ними. Зарубежные исследования (М. Baldoni, С. Rizzardini, М. Gaeta) демонстрируют успешное применение онтологий для персонализации образовательных траекторий, но проблема комплексной автоматизации разработки именно нормативного (базового) учебного плана остается недостаточно проработанной.

Целью данной работы является разработка и обоснование подхода к автоматизации проектирования учебных планов на основе онтологической модели, обеспечивающего семантическую непротиворечивость и сокращение временных затрат на этапе формирования структуры программы.

Концептуальная модель предметной области

Для формализации процесса проектирования учебного плана была построена онтологическая модель, описывающая статические и динамические аспекты образовательной программы. Модель реализована в терминах языка OWL 2 (Web Ontology Language) и включает следующие базовые классы:

Образовательный стандарт (FSSES) – содержит требования к результатам освоения (универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции).

Компетенция (Competence) – структурирована по уровням (знать, уметь, владеть) и индикаторам достижения.

Дисциплина (Discipline) – характеризуется трудоемкостью (ЗЕТ), семестром изучения, категорией (обязательная, факультативная) и содержательными элементами.

Профессиональный стандарт (ProfStandard) – определяет трудовые функции и действия, которые должны быть отражены в профессиональных компетенциях.

Результат обучения (LearningOutcome) – связующий элемент между компетенцией и дисциплиной.

Ключевым отношением в модели является формирует (forms), связывающее дисциплину с компетенцией. В отличие от традиционных матриц компетенций, онтологический подход позволяет учитывать вес вклада дисциплины в формирование компетенции (коэффициент значимости) и семантическую близость содержания дисциплины к требуемым индикаторам. [2]

Алгоритм автоматизированного проектирования

Разработанный алгоритм включает три этапа:

Этап 1 – Инициализация. На основе выбранного ФГОС и перечня профессиональных стандартов формируется целевой профиль компетенций. Система автоматически генерирует граф обязательных компетенций с указанием пороговых уровней освоения.

Этап 2 – Формирование структуры. С использованием правил логического вывода (SWRL) производится подбор дисциплин из репозитория, удовлетворяющих условиям:

покрытие не менее 80% индикаторов компетенции;

соблюдение пререквизитов (отношение требует (requires) между дисциплинами);

минимизация дублирования содержания.

На этом этапе реализован механизм семантического анализа текстов рабочих программ дисциплин для выявления скрытых связей и потенциальных содержательных конфликтов. [1]

Этап 3 – Валидация и оптимизация. Сформированный учебный план проверяется на:

полноту покрытия компетенций (построение матрицы компетенций с расчетом кумулятивного вклада);

соблюдение нормативной трудоемкости (не более 60 ЗЕТ в год);

логическую связность графа изучения дисциплин (отсутствие циклов и разрывов).

При обнаружении дефицита покрытия компетенции система предлагает варианты компенсации: включение факультативных дисциплин, корректировку трудоемкости или пересмотр логической последовательности.

Экспериментальная апробация

Апробация разработанного подхода проводилась на базе Института информационных технологий при формировании учебных планов по направлению 09.03.03 «Прикладная информатика» (профиль «Прикладная информатика в экономике»). В эксперименте участвовали две группы разработчиков: контрольная (традиционный метод) и экспериментальная (с использованием онтологической модели). [3]

Результаты:

Временные затраты на разработку базового учебного плана сократились с 14 рабочих дней до 8–9 дней (снижение на 36%).

Количество итераций согласования между кафедрами уменьшилось с 5–6 до 2–3.

При автоматической валидации было выявлено 12 случаев семантического дублирования содержания дисциплин, не очевидных при экспертной оценке.

Полнота формирования профессиональных компетенций, оцененная по методике Рособнадзора, составила 94% против 82% в контрольной группе.

Обсуждение результатов

Полученные данные свидетельствуют о том, что онтологическая модель не только ускоряет процесс проектирования, но и повышает его качество за счет формализации экспертных знаний. Особую значимость приобретает возможность трассировки «профессиональный стандарт → компетенция → дисциплина

→ результат обучения», что обеспечивает прозрачность образовательной программы для аккредитационных экспертов и работодателей.

Вместе с тем, в ходе апробации выявлены ограничения подхода: высокая трудоемкость первоначального наполнения онтологии (формирование репозитория дисциплин с детализацией до уровня индикаторов) и необходимость регулярной актуализации связей при обновлении ФГОС. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка методов полуавтоматического извлечения онтологических сущностей из текстов рабочих программ с использованием технологий обработки естественного языка (NLP).

Заключение

Разработан подход к автоматизации проектирования учебных планов, основанный на онтологической модели, интегрирующей компетенции, дисциплины, результаты обучения и требования профессиональных стандартов.

Предложенная архитектура онтологии и алгоритм семантического анализа обеспечивают логическую непротиворечивость формируемых структур и полноту покрытия компетенций.

Экспериментальная апробация подтвердила эффективность подхода: сокращение времени проектирования на 30–40%, снижение количества итераций согласования, повышение качества формирования компетенций.

Результаты исследования могут быть использованы при создании интеллектуальных систем поддержки принятия решений в управлении образовательными программами, а также для автоматизированного формирования учебных планов в цифровых экосистемах университетов.

Список литературы

1. Методологические проблемы автоматизированного формирования образовательных программ в рамках ФГОС ВПО / С. А. Бронов, Е. А. Степанова, Ю. М. Кудрявцева [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2012. – № 8. – С. 103-111. – EDN TJTQFB.

2. Туманова, А. В. Автоматизация разработки образовательных программ с возможностью формирования индивидуальных образовательных траекторий обучающихся / А. В. Туманова, Н. В. Путилова // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах '21 : Международная научная конференция : сборник докладов, Санкт-Петербург, 14–22 апреля 2021 года. –

Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. – С. 78-81. – DOI 10.31799/978-5-8088-1557-5-2021-78-81. – EDN SNSSJL.

3. Крейдунова, В. В. Моделирование процесса формирования учебного плана / В. В. Крейдунова // Информационный бюллетень Омского научно-образовательного центра ОмГТУ и ИМ СО РАН в области математики и информатики : материалы VII Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы, посвященной 60-летию Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Омск, 25 апреля – 04 2017 года. Том 1, № 1. – Омск: Омский государственный технический университет, 2017. – С. 121-122. – EDN ZDL List of literature.

References

1. Methodological problems of automated formation of educational programs within the framework of the Federal State Educational Standard for Higher Professional Education / S. A. Bronov, E. A. Stepanova, Yu. M. Kudryavtseva [et al.] // Modern information technologies and IT education. – 2012. – No. 8. – pp. 103-111. – EDN TJTQFB.

2. Tumanova, A.V. Automation of educational program development with the possibility of forming individual educational trajectories of students / A.V. Tumanova, N. V. Putilova // Processing, transmission and protection of information in computer systems '21 : International Scientific Conference : collection of reports, St. Petersburg, April 14-22, 2021. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2021. – pp. 78-81. – DOI 10.31799/978-5-8088-1557-5-2021-78-81. – EDN SNSSJL.

3. Kreidunova, V. V. Modeling the process of curriculum formation / V. V. Kreidunova // Information bulletin of the Omsk Scientific and Educational Center of OmSTU and IM SB RAS in the field of mathematics and computer science : materials of the VII International Youth Scientific and practical conference with elements of a scientific school dedicated to the 60th anniversary of the S. L. Sobolev Institute of Mathematics SB RAS Russian Academy of Sciences, Omsk, April 25 – 04, 2017. Volume 1, No. 1. Omsk: Omsk State Technical University, 2017. pp. 121-122. - EDN ZDLKBT.KBT.

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К ОБУЧЕНИЮ МОДЕЛЕЙ НА НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Е.С. Ильин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассмотрены и сравнены основные подходы к обучению моделей машинного и глубокого обучения на неструктурированных данных: контролируемое, неконтролируемое, самообучение и перенос обучения. Анализ проводится с точки зрения требований к объёму и качеству разметки, поддержки мультимодальных данных, вычислительной сложности и практической применимости в информационных системах. Показано, что самообучение и перенос обучения с использованием крупных предварительно обученных моделей позволяют эффективно использовать большие массивы неразмеченных данных и снижать затраты на разметку при сохранении высокого качества решений.

Ключевые слова: неструктурированные данные; машинное обучение; глубокое обучение; контролируемое обучение; неконтролируемое обучение; самообучение; self-supervised learning; перенос обучения; крупные языковые модели; мультимодальные модели; информационные системы.

COMPARISON OF APPROACHES TO MODEL TRAINING ON UNSTRUCTURED DATA

E.S. Ilyin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper examines and compares the main approaches to training machine learning and deep learning models on unstructured data, including supervised, unsupervised, self-supervised learning and transfer learning. The analysis focuses on the required amount and quality of labeled data, support for multimodal inputs, computational cost, and practical applicability in information systems. The study shows that self-supervised learning and transfer learning with large pretrained models make it possible to effectively exploit large volumes of unlabeled data and reduce annotation costs while maintaining high solution quality.

Keywords: unstructured data; machine learning; deep learning; supervised learning; unsupervised learning; self-supervised learning; transfer learning; large language models; multimodal models; information systems

Введение

Сегодняшние информационные системы постоянно производят и копируют огромные объёмы неструктурированных данных: тексты, изображения, аудио- и видеозаписи, журналы событий, медицинские записи, сообщения в социальных сетях и многое другое. Большая часть корпоративной и веб-информации относится именно к этому типу, поэтому неструктурированные данные становятся ключевым объектом для аналитики и поддержки принятия решений. В отличие от структурированных наборов, такие данные лишены заранее заданной схемы, сильно различаются по форме и содержанию и характеризуются высокой размерностью, что значительно осложняет их использование в классических системах хранения и анализа.

На фоне этих вызовов за период 2020–2025 гг. заметно продвинулось развитие подходов к обучению моделей машинного и глубокого обучения, ориентированных на работу с неструктурированной информацией. В центре внимания находятся классическое контролируемое обучение (supervised learning), неконтролируемое обучение (unsupervised learning), различные варианты самообучения (self-supervised learning), а также перенос обучения и дообучение крупных предварительно обученных моделей (transfer learning, fine-tuning), включая языковые и мультимодальные архитектуры. Каждый из этих подходов предлагает свой баланс между требуемым объёмом разметки, вычислительными затратами, качеством обобщения и способностью работать с разнородными, в том числе мультимодальными, данными.

Цель данной работы состоит в том, чтобы сопоставить основные подходы к обучению моделей на неструктурированных данных, показать их сильные и слабые стороны и продемонстрировать, зачем разработчику или исследователю важно осознанно выбирать стратегию обучения. Теоретическая значимость работы заключается в том, что предлагается упорядоченный взгляд на современные стратегии обучения и критерии их сравнения. Практическая значимость связана с возможностью опираться на полученные выводы при проектировании реальных информационных систем и аналитических решений.

Обзор литературы

В современной литературе неструктурированные данные рассматриваются как один из главных факторов, усложняющих внедрение аналитики больших данных и систем искусственного интеллекта в прикладных областях. Для работы с текстовой информацией центральное место заняли трансформеры и крупные языковые модели (LLM), которые показали высокую эффективность в задачах классификации, извлечения сущностей, суммаризации, построения диалоговых систем и извлечения фактов из свободного текста. Принципиальное преимущество таких моделей в том, что они позволяют опираться на масштабное предварительное обучение и лишь затем дообучаться на специализированных, часто весьма компактных, размеченных выборках.

При работе с изображениями и мультимедиа основные успехи связаны с глубокими сверточными и гибридными архитектурами, а также с методами самообучения и контрастивного обучения, которые используют большие коллекции неразмеченных данных. Обзорные исследования показывают, что self-supervised и contrastive learning способны формировать устойчивые и переносимые представления, нередко превосходящие по качеству классические supervised-решения, особенно в условиях дефицита маркированных примеров. Параллельно активно развивается направление мультимодального обучения, где в единой модели совместно обрабатываются текст, изображение, аудио и табличные данные; это особенно важно для интеграции структурированных и неструктурированных источников в единую аналитическую среду.

Отдельный пласт исследований посвящён применению крупных моделей для извлечения структурированной информации из неструктурированных медицинских записей, юридических документов, финансовых отчётов и других сложных текстов.

Публикации в области цифровой медицины и корпоративной аналитики демонстрируют, что дообученные LLM и мультимодальные модели способны заметно сократить объём ручной работы, обеспечивая при этом высокое качество извлечения ключевых параметров и признаков. При этом авторы подчёркивают, что выбор конкретного подхода (контролируемое обучение, неконтролируемое обучение, самообучение или перенос обучения) должен опираться на доступность разметки, требования к интерпретируемости и ограничения по ресурсам.

Объект и предмет исследования

В рамках данной работы в качестве объекта рассматриваются подходы к обучению моделей машинного и глубокого обучения, ориентированных на обработку неструктурированных данных: текстов, изображений и их мультимодальных комбинаций. Предметом исследования являются сравнительные характеристики этих подходов с точки зрения:

- объёма и качества необходимой разметки;
- поддержки чисто неструктурированных и мультимодальных данных;
- вычислительной стоимости обучения и внедрения;
- способности к обобщению и устойчивости к смещению данных;
- практической применимости в реальных информационных системах.

Классификация подходов

Для упорядочения анализа выделим четыре ключевых класса подходов:

1. **Контролируемое обучение (supervised learning).** Модель обучается по размеченной выборке и нацелена на решение конкретной задачи, например классификации текстов, изображений, анализа настроений или медицинской диагностики. Такой подход традиционно даёт высокую точность, но сильно зависит от объёма и качества разметки.

2. **Неконтролируемое обучение (unsupervised learning).** Методы кластеризации, тематического моделирования и обучения представлений без меток применяются для первичного структурирования больших корпусов документов, поиска скрытых закономерностей и снижения размерности. Они полезны на этапе разведочного анализа, но сами по себе редко решают прикладные задачи «от начала до конца».

3. **Самообучение (self-supervised, в том числе контрастивное).** Модель учится на неразмеченных данных, решая вспомогательные, искусственно сформулированные задачи (восстановление маскированных фрагментов, предсказание контекста, сопоставление разных представлений одного объекта и т.п.). Такие методы позволяют задействовать большие объёмы сырых данных и получать представления, пригодные для последующего дообучения.

4. **Перенос обучения и fine-tuning.** В этом случае используется уже предварительно обученная крупная модель (например, языковая или мультимодальная). Её параметры адаптируются под конкретную задачу и домен с помощью относительно небольшого набора размеченных примеров. Это направление

особенно актуально в связи с широким распространением LLM и крупных мультимодальных архитектур.

Критерии сравнения и представление результатов

Сравнение рассматриваемых подходов выполняется по нескольким осям:

- объём и тип требуемой разметки (полная, частичная, отсутствие разметки);
- поддержка мультимодальных данных;
- типичная вычислительная сложность;
- основные области применения в информационных системах;
- зрелость инструментальной экосистемы (доступность библиотек, готовых моделей и т.п.).

Сравнительный анализ подходов

В сводной таблице ниже в сжатом виде показаны ключевые характеристики каждого подхода.

Контролируемое обучение остаётся естественным выбором, когда есть достаточно большая и качественно размеченная выборка. В таких условиях оно даёт хорошие результаты и позволяет строить точные модели под конкретную задачу. Однако в случае неструктурированных данных ключевой проблемой становится стоимость разметки: требуется участие квалифицированных специалистов, причём объём данных может исчисляться миллионами экземпляров. Это резко снижает привлекательность чисто supervised-подходов в ряде доменов.

Неконтролируемые методы удобны для первичного ориентирования в больших массивах неструктурированной информации. С их помощью можно выделить группы схожих документов, темы, латентные факторы, что помогает понять структуру данных и сформировать гипотезы. Но сами по себе такие методы редко дают готовое решение прикладной задачи, особенно если требуется точное предсказание или строгая интерпретируемость. Обычно unsupervised-результаты используют как основу для последующего контролируемого или самообучения.

Самообучение и контрастивные подходы за последние годы стали одним из центральных направлений в обработке изображений, текста и мультимодальных данных. Это объясняется тем, что в реальных проектах гораздо проще собрать большой массив сырых данных, чем обеспечить для него качественную разметку. Self-supervised-подходы позволяют использовать такие массивы для обучения универсальных представлений, которые затем легко адаптировать к

конкретной задаче с помощью сравнительно небольшого размеченного поднабора. На практике это даёт выигрыш как в качестве, так и в устойчивости моделей к изменениям распределения данных, но требует серьёзных вычислительных ресурсов и продуманной методики обучения.

Таблица 1 – Сравнение подходов к обучению моделей на неструктурированных данных

Подход	Требования к разметке	Работа с мультимодальностью	Вычислительная сложность	Типичные области применения
Контролируемое обучение	Нужен значительный объём размеченных данных, качество меток критично	Возможна при наличии размеченных мультимодальных корпусов	Средняя/высокая, зависит от архитектуры	Классификация текстов и изображений, диагностика, анализ настроений
Неконтролируемое обучение	Разметка не требуется, интерпретация кластеров выполняется постфактум	Обычно применяется к отдельным модальностям	Средняя/высокая при больших коллекциях	Тематическое моделирование, кластеризация документов, разведочный анализ
Самообучение (self-supervised)	Разметка не нужна, используются искусственно заданные предтекстовые задачи	Эффективно для текста и изображений, в том числе мультимодальных	Высокая, требуются серьёзные вычислительные ресурсы	Предобучение представлений, база для последующего supervised-дообучения
Перенос обучения, fine-tuning	Используются предварительно обученные модели, достаточно ограниченной разметки	Широко применяется в языковых и мультимодальных моделях	Высокая при предобучении, умеренная при дообучении	Извлечение данных из документов, анализ медицинских записей, корпоративная аналитика

Перенос обучения и fine-tuning крупных предварительно обученных моделей, в том числе языковых и мультимодальных, во многом стали ответом на потребности прикладных проектов. Широкая доступность готовых LLM и открытых моделей компьютерного зрения позволяет разработчикам сосредоточиться на адаптации уже существующих моделей к своим задачам, а не на обучении с нуля. В медицине, праве и корпоративной аналитике показано, что дообучение

таких моделей на относительно небольшой выборке доменных данных нередко позволяет достичь или превзойти качество специализированных решений при существенно меньших затратах на разметку и инфраструктуру. В то же время возрастает потребность в контроле качества, интерпретируемости и соблюдении требований безопасности и конфиденциальности.

Теоретическая и практическая значимость

С теоретической точки зрения сравнение рассмотренных подходов помогает более чётко понимать их место и роль в экосистеме методов анализа неструктурированных данных. Предложенный набор критериев – от требований к разметке до поддержки мультимодальности и вычислительной сложности – может служить основой для оценки новых методов и гибридных схем, которые всё активнее появляются в литературе. Кроме того, становится проще формулировать исследования, направленные на сочетание сильных сторон разных парадигм, например объединение self-supervised-предобучения, unsupervised-кластеризации и лёгкого supervised-дообучения.

Практическая значимость работы выражается в том, что её выводы дают разработчикам и исследователям понятные ориентиры при выборе стратегии обучения для конкретного проекта. Понимая, какие ресурсы доступны (разметка, вычислительная инфраструктура, экспертиза), какие данные предстоит обрабатывать (одна или несколько модальностей) и какие требования предъявляются к качеству и интерпретируемости, можно более осознанно выбирать между контролируемым обучением, неконтролируемыми методами, самообучением и переносом обучения. В ряде случаев оптимальным оказывается не один подход, а их сочетание, что тоже отражено в проведённом сравнении.

Вывод

Проведённый анализ показывает, что при работе с неструктурированными данными невозможно выделить единственный «лучший» подход к обучению моделей. Контролируемое обучение обеспечивает высокую точность, но плохо масштабируется в условиях дефицита разметки и быстро меняющихся доменов. Неконтролируемые методы ценны для разведочного анализа и структурирования данных, однако сами по себе чаще выступают как вспомогательный инструмент, а не как завершённое решение.

Самообучение и контрастивные подходы позволяют использовать большие объёмы сырых данных и получать универсальные представления, что делает

их особенно привлекательными в современных задачах анализа текстов, изображений и мультимодальных источников. Перенос обучения и fine-tuning крупных предварительно обученных моделей, в свою очередь, дают практикам мощный инструмент, позволяющий быстро и относительно недорого внедрять интеллектуальные компоненты в информационные системы, не начиная каждый раз «с нуля».

Теоретическая значимость работы заключается в систематизации ролей основных парадигм обучения в контексте неструктурированных данных и в предложении удобных критериев их сравнения. Практическая значимость связана с тем, что сформулированные выводы и акценты можно использовать как методические рекомендации при выборе подхода для конкретного проекта – от анализа медицинских записей до мониторинга социальных медиа и обработки корпоративных документов. В качестве перспективных направлений дальнейших исследований можно выделить разработку более эффективных и экономичных процедур самообучения, глубокую интеграцию структурированных и неструктурированных источников в единую мультимодальную архитектуру, а также методы повышения интерпретируемости и надёжности моделей в критически важных областях.

Список литературы

1. Роннебергер О. U-Net: Свёрточные сети для биомедицинской сегментации изображений // Медицинская компьютерная томография и компьютерное вмешательство (MICCAI). 2015. URL: <https://lmb.informatik.uni-freiburg.de/people/ronneber/u-net/> (дата обращения: 13.02.2025).

2. Фюлоп А., Хорват А. Сквозное обучение глубоких нейронных сетей в частотной области // Mathematics. 2022. Т. 10. С. 2132. DOI: 10.3390/math10132132.

3. Лу Х., Хуан Я., Чжан Ч. и др. Достижения в глубоком обучении для микроскопии сверхвысокого разрешения (приглашённый доклад) // Laser & Optoelectronics Progress. 2024. Т. 61, № 16. Ст. 1611002. DOI: 10.3788/LOP6124161002.

4. Машинное обучение для физических наук: воркшоп на NeurIPS 2022 [ML for Physical Sciences Workshop at NeurIPS 2022]. URL: https://ml4physicalsciences.github.io/2022/files/NeurIPS_ML4PS_2022_92.pdf (дата обращения: 13.02.2025).

5. Рудской А.И., Волков К.Н., Соколов Ю.А., Кондратьев С.Ю. Цифровые производственные системы: технологии, моделирование, оптимизация. СПб.: СПбПУ, 2020. 828 с.
6. Маркидис С. Старое и новое: Могут ли физически информированные методы глубокого обучения заменить традиционные линейные решатели? // Mathematics. 2022. Т. 10. С. 603. DOI: 10.3390/math9100603.
7. NVIDIA Solutions. URL: <https://www.macnica.co.jp/en/business/semiconductor/manufacturers/nvidia/products/134046/> (дата обращения: 13.02.2025).
8. Сизая А. Моделирование теплопередачи и напряжений при лазерной сварке с использованием пакета FENICS // Английский язык в сфере профессиональных коммуникаций: Сб. докл. VII Всерос. молодежной науч. конф. Казань, 2021. С. 249-251.
9. Appercase News. URL: <https://www.appercase.ru/news/27220/> (дата обращения: 13.02.2025).
10. Assured Systems. URL: <https://www.assured-systems.com/nvidia-jetson-agx-xavier-for-new-era-of-ai-in-robotics/> (дата обращения: 13.02.2025).
11. Sigma Labs News. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/sigma-labs-printrite3d-platform-made-compatible-with-polymer-3d-printing-201503/> (дата обращения: 13.02.2025).
12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120.
14. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники / Т. П. Новикова, А. А. Бодин, А. И. Заревич // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77–80.
15. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.
16. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A.

I. Zarevich [et al.] // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, № 4. – P. 329–338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.

17. Формирование ИКТ-компетентности студентов специальности «Информатика» / А. В. Полуэктов // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2009. – № 3 (3). – С. 8–11. – EDN SAXGJX.

References

1. Ronneberger O. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). 2015. URL: <https://lmb.informatik.uni-freiburg.de/people/ronneber/u-net/> (accessed: 13.02.2025).

2. Fülöp A., Horváth A. End-to-End Training of Deep Neural Networks in the Fourier Domain // Mathematics. 2022. Vol. 10. P. 2132. DOI: 10.3390/math10132132.

3. Lu X., Huang Y., Zhang Z. et al. Advances in Deep Learning for Super-Resolution Microscopy (Invited) // Laser & Optoelectronics Progress. 2024. Vol. 61, No. 16. Art. 1611002. DOI: 10.3788/LOP6124161002.

4. Machine Learning for Physical Sciences: Workshop at NeurIPS 2022 [ML for Physical Sciences Workshop at NeurIPS 2022]. URL: https://ml4physicalsciences.github.io/2022/files/NeurIPS_ML4PS_2022_92.pdf (accessed: 13.02.2025).

5. Rudskoy A.I., Volkov K.N., Sokolov Y.A., Kondratyev S.Y. Digital Manufacturing Systems: Technologies, Modeling, Optimization. St. Petersburg: SPbPU, 2020. 828 p.

6. Markidis S. The Old and the New: Can Physics-Informed Deep Learning Replace Traditional Linear Solvers? // Mathematics. 2022. Vol. 10. P. 603. DOI: 10.3390/math9100603.

7. NVIDIA Solutions. URL: <https://www.macnica.co.jp/en/business/semiconductor/manufacturers/nvidia/products/134046/> (accessed: 13.02.2025).

8. Sizaya A. Simulation of Heat Transfer and Stresses in Laser Welding Using the FENICS Package // English in Professional Communication: Proc. VII All-Russian Youth Sci. Conf. Kazan, 2021. P. 249-251.

9. Appercase News. URL: <https://www.appercase.ru/news/27220/> (accessed: 13.02.2025).

10. Assured Systems. URL: <https://www.assured-systems.com/nvidia-jetson-agx-xavier-for-new-era-of-ai-in-robotics/> (accessed: 13.02.2025).

11. Sigma Labs News. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/sigma-labs-printrite3d-platform-made-compatible-with-polymer-3d-printing-201503/> (accessed: 13.02.2025).
12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.
14. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of the stomatological polyclinic / T. P. Novikova, A. A. Bodin, A. I. Zarevich // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. – 2023. – No. 3. – pp. 77-80.
15. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
16. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.
17. Formation of ICT competence of students of the specialty "Informatics" / A.V. Poluektov // Information and communication technologies in teacher education. – 2009. – № 3 (3). – Pp. 8-11. – EDN SAXGJX.

ОБЗОР ОФИСНОГО ПАКЕТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДОКУМЕНТОВ «ЯНДЕКС ДОКУМЕНТЫ»

Н.Д. Кириллов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной статье проводится обзор офисного пакета для обработки цифровых документов «Яндекс». Были рассмотрены приложения, реализованные в пакете, и их основные функции, направленные на обработку информации – текстовый и табличный процессоры, а также программа для подготовки презентаций. Также проведено сравнение с аналогичными программами актуальных на данный момент офисных пакетов Microsoft office и Google Docs.

Ключевые слова: текстовый процессор, табличный процессор, обработка информации.

A REVIEW OF THE «YANDEX DOCUMENTS» OFFICE SUITE FOR PROCESSING DIGITAL DOCUMENTS

N.D. Kirillov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article provides an overview of the Yandex Office suite for digital document processing. The applications included in the suite and their key information-processing functions—word processors, spreadsheets, and presentation software—are discussed. A comparison with similar programs in the currently popular Microsoft Office and Google Docs office suites is also provided.

Keywords: word processor, spreadsheet, information processing.

Введение

В наши дни задачи по обработке информации в цифровом формате выполняются человеком практически каждый день. Необходимо обеспечение условий поиска, редактирования, хранения, а также передачи информации, в виде документов различных форматов, которые могут занимать различный объём памяти

на устройстве. Основным из этих процессов безусловно является процесс редактирования, и каждый пользователь заинтересован в использовании для этого удобных и понятных инструментов. Также для ряда задач зачастую требуется доступ одного и того же документа сразу несколькими пользователями. Длительное время широкий набор инструментов, понятных и удобных для пользователя, предоставляли пакеты Microsoft office и Google Docs, однако не так давно возник аналог от «Яндекс», который, среди прочих возможностей, имеет интегрированный ИИ-ассистент. Хотя он имеет во многом схожий интерфейс, некоторые его функции могут отличаться, а также иначе реализовано хранение файлов и доступ к ним.

Состав

Офисный пакет Яндекс Документы включают в себя следующие программы:

- Текстовый процессор
- Табличный процессор
- Приложение для создания презентаций

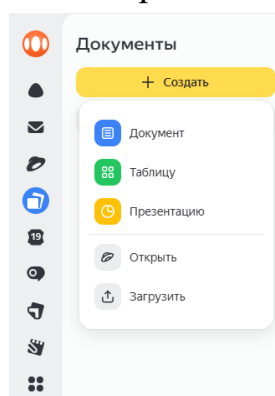


Рисунок 1 – выбор типа документа

Неоспоримым плюсом является то, что интерфейс программ максимально схож с аналогичными из активно используемого по сей день пакета Microsoft office. Это прослеживается на примере текстового редактора.

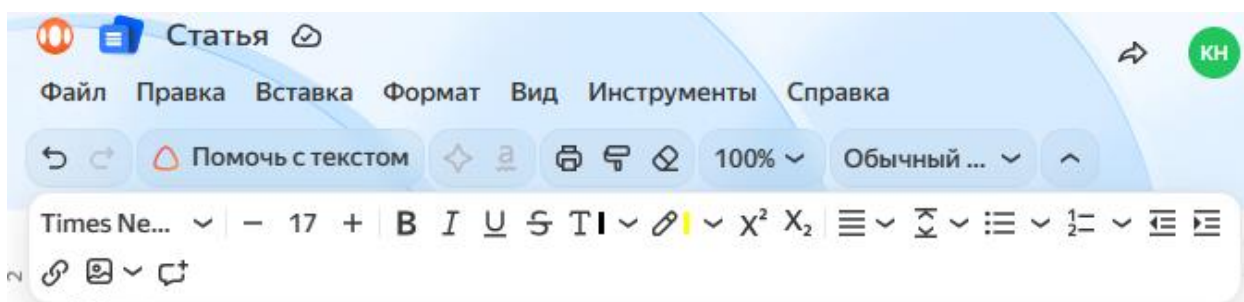


Рисунок 2 – панель инструментов текстового редактора Яндекс Документы

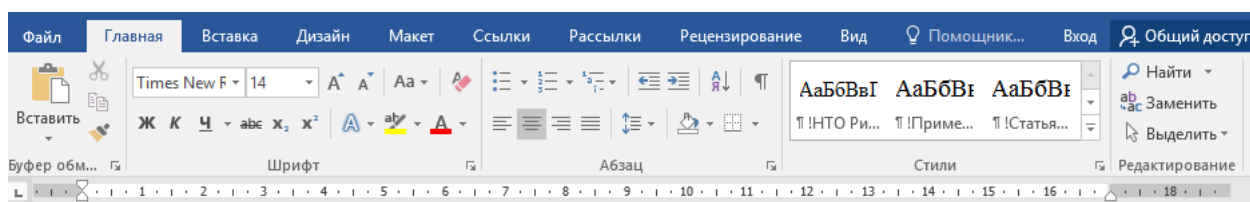


Рисунок 3 – панель инструментов текстового редактора Microsoft Office

Можно заметить также значительное упрощение набора инструментов, характерное для пакетов, расположенных на веб-ресурсах. Зачастую представленных на рисунке 1 инструментов достаточно для выполнения базовых задач по обработке информации. Также не является перегруженным и наполнение инструментов – например, среди стилей текста в Яндекс Документах присутствует лишь 14 вариантов, наиболее часто выбираемых пользователями при работе с документами, в то время как в Google Docs их насчитывается 25, а в Word около сотни, 90% которых практически не используются [2]. Подобное упрощение можно было также наблюдать в работе с Google Docs. Ещё одним преимуществом является привычные команды горячих клавиш.

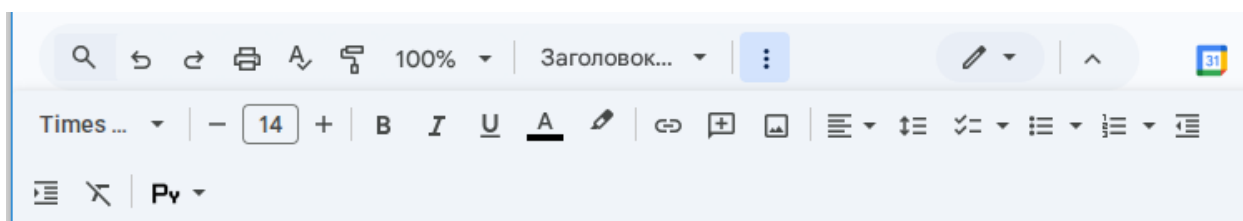


Рисунок 4 – панель инструментов текстового редактора Google Docs

Среди особенностей текстового редактора есть существенный недостаток – автоматическое отслеживание орфографии написания текста отсутствует. Однако, это не означает то, что имеющиеся ошибки не удастся исправить. Существенным отличием пакета Яндекса от других является интеграция в него ИИ-ассистента [1], с помощью которого пользователь способен улучшать текст документа, в том числе, исправлять в нём орфографические и пунктуационные ошибки.

Более простой набор инструментов представлен также в табличном редакторе. Присутствует также возможность организации документа как книги посредством добавления новых листов. Можно заметить, что часто применяемая функция изменения формата ячеек в Яндекс Документах стала отдельным инструментом в основном меню, что гораздо упрощает задачи редактирования.

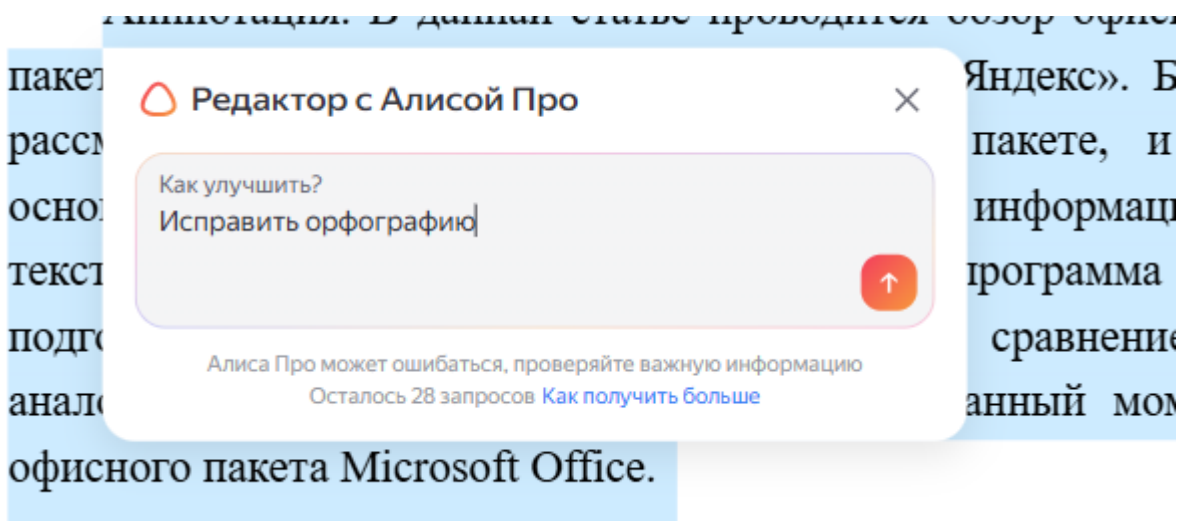


Рисунок 5 – исправление орфографии с помощью ИИ-ассистента

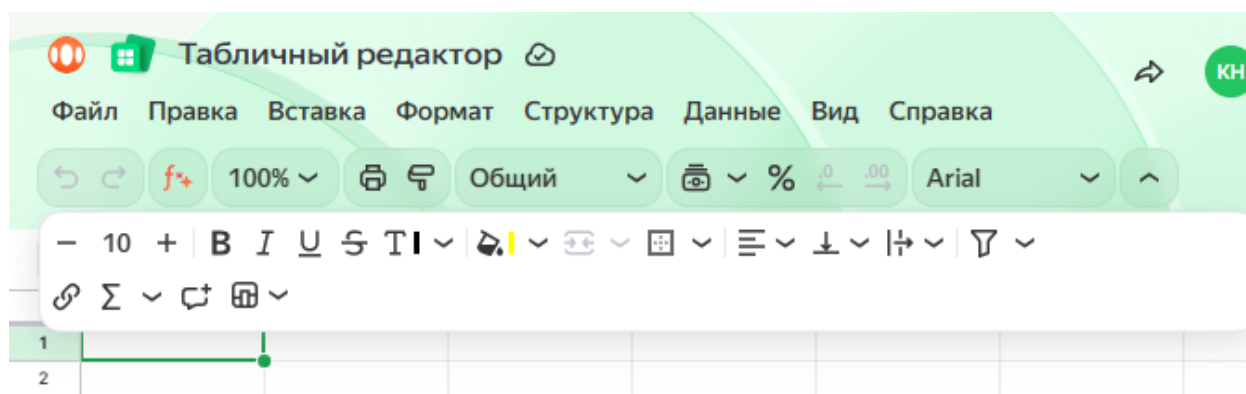


Рисунок 6 – панель инструментов табличного редактора Яндекс Документы

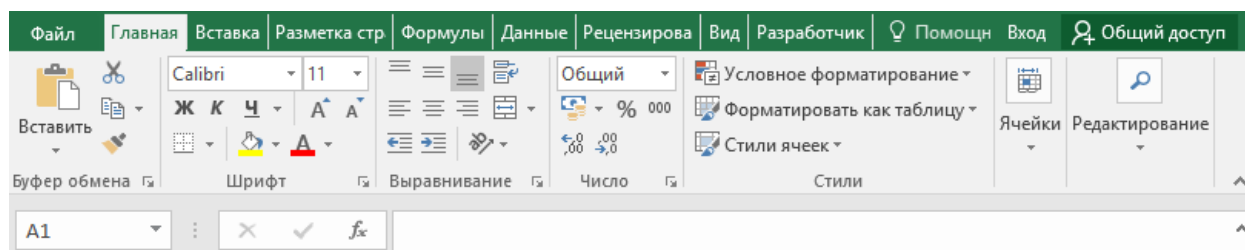


Рисунок 7 – панель инструментов табличного редактора Microsoft Office

Аналогично организовано изменение формата в Google Docs, где пользователю доступно гораздо больше функций. Уже среди форматов данных в качестве отдельного инструмента, как в Google Docs [3], так и в Яндекс Документах, выделены денежный и финансовый форматы, причем в пакете от Яндекс есть возможность выбора для денежного формата из четырёх валют. Среди недостатков редактора стоит отметить значительно упрощённый набор инструментов. Так, в Яндекс Документах нет возможности построения некоторых графиков.

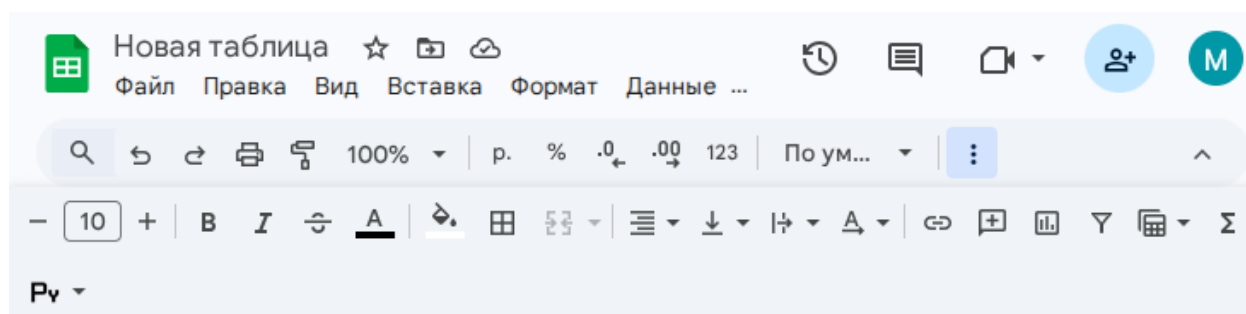


Рисунок 8 – панель инструментов табличного редактора Google Docs

Что касается приложения для создания презентаций, основных изменений коснулись такие инструменты как режим рисования и режим редактирования отдельных полей. «Рисование» в Яндекс Документах [1], в отличие от аналогов, является отдельным инструментом, сразу доступным на основной панели и имеющим все необходимые функции.

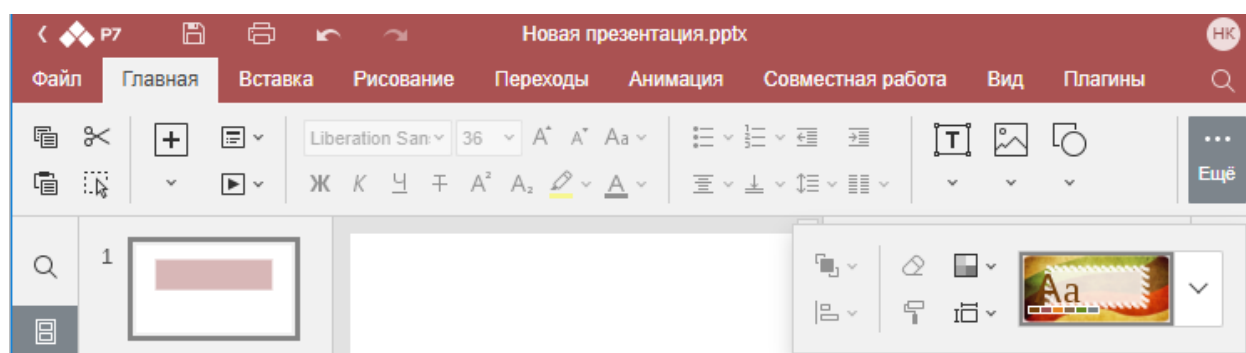


Рисунок 9 – панель инструментов приложения для создания презентаций Яндекс Документы

Режим редактирования отдельных полей, в отличие от аналогов, в Яндекс Документах является фиксированной частью меню и становится активен, если пользователь выбирает подходящий элемент презентации для редактирования, причём для каждого отдельного элемента становятся активны только доступные для него функции.

В Яндекс Документах также присутствуют все инструменты для анимирования слайдов. Также добавлена возможность сохранения созданной презентации в виде файлов различных форматов, в том числе, сохранение отдельных слайдов как изображений.

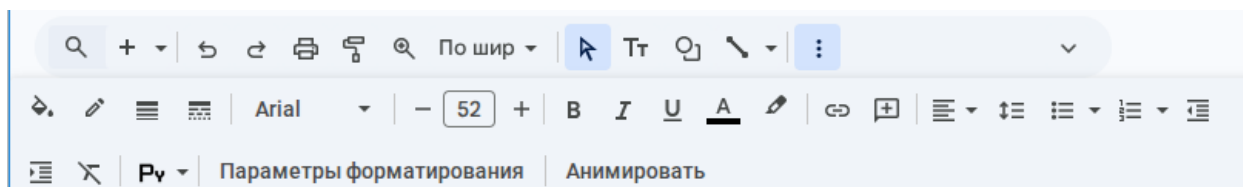


Рисунок 10 – панель инструментов приложения для создания презентаций Google Docs

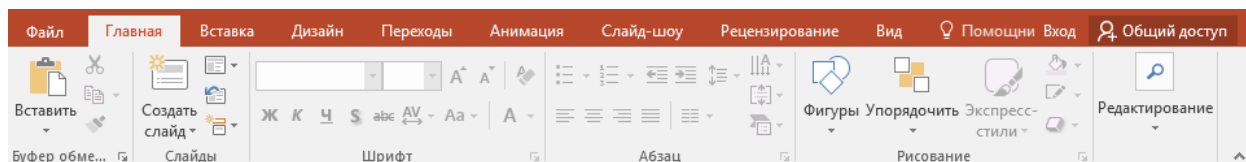


Рисунок 11 – панель инструментов приложения для создания презентаций Microsoft Office

Хранение файлов

Все созданные с помощью пакета документы хранятся в облаке (Яндекс Диск), доступ к ним могут иметь только авторизованные аккаунты. Вместе с этим возможно редактирование уже существующих файлов в форматах .doc, .xls и .ppt после их загрузки на Яндекс Диск [1]. При этом формат документов будет изменён, например, из .doc в .docx.

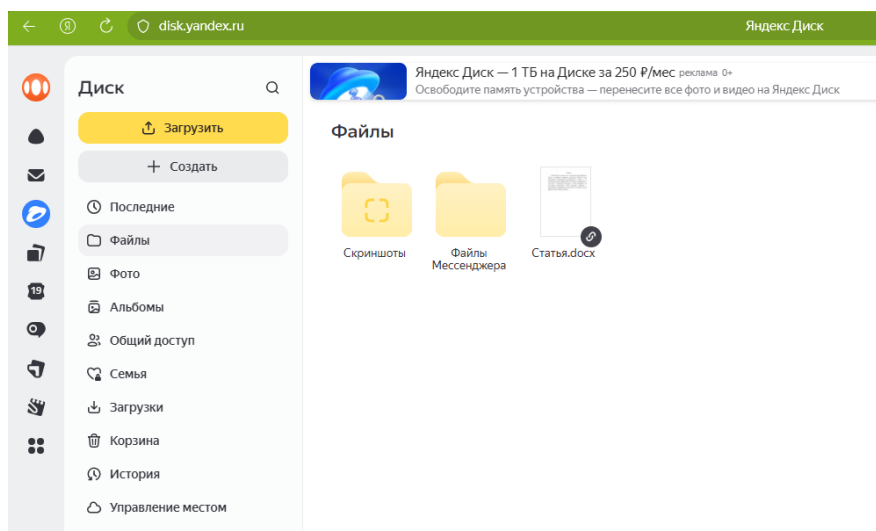


Рисунок 12 – пример расположения созданных документов на Яндекс Диске

Доступ

В данном пакете предусмотрен многопользовательский доступ для редактируемых документов. За настройку доступа отвечает пользователь, создавший

документ и способен разграничивать права использования документов на просмотр и редактирование. Доступ прочих пользователей к документу осуществляется через ссылку на него – им становятся доступны такие действия как скачивание документа, сохранение его на Яндекс Диск, а также печать.

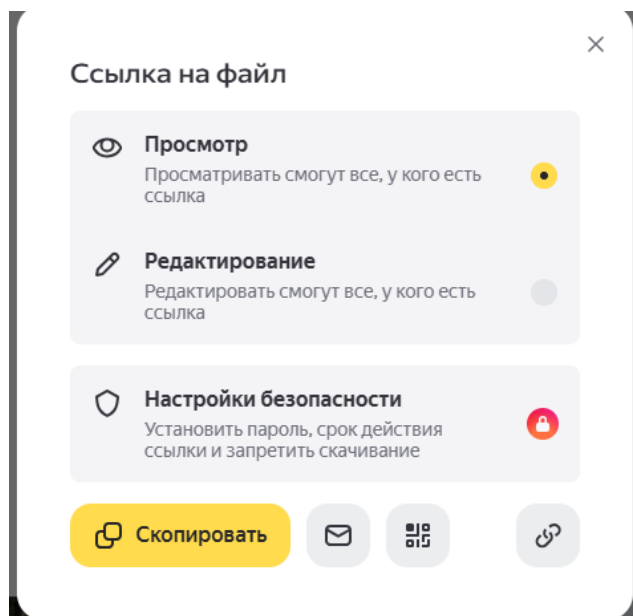


Рисунок 13 – окно редактирования доступа

Ограничить эти действия можно как через абсолютный заперт, так и через установку времени действия текущей ссылки на документ, или пароля. Одним из минусов является то, что при установке пароля необходимость введения пароля возникает и у пользователя-владельца.

Заключение

Для решения повседневных задач по обработке информации в документах различных типов Яндекс Документы являются неплохой альтернативой. Среди плюсов этого пакета можно выделить простой, понятный, основанный на хорошо знакомых аналогах инструментарий, возможность как создавать новые документы непосредственно в пакете, так и использовать созданные ранее, возможность кооперативной работы с настройкой доступа пользователи к документам. Инновационным способом повышения эффективности обработки информации является использование ИИ-ассистента. Это не является заменой каких-либо действий, осуществляемых пользователем, но стало уникальным дополнительным инструментарием. У аналогов имеются версии своих пакетов с подобными

решениями, но в данный момент в РФ недоступны. Яндекс Документы же являются бесплатным пакетом, доступным любому пользователю, также интегрированном с остальными сервисами Яндекса.

Среди недостатков пакета всё же можно выделить отсутствие некоторых полезных для обработки информации функций, конкретно, в табличном редакторе, что, тем не менее, может быть решено в будущих обновлениях пакета. Яндекс Документы можно рекомендовать к использованию для решения задач по обработке информации, а также для обучения использования текстового и табличного редактора, в том числе, в режиме командной работы.

Список литературы

1. Yandex 360. Документы // Yandex 360: [сайт]. – URL: <https://360.yandex.ru/documents/> (дата обращения: : 10.02.2026). – Текст : электронный.
2. Microsoft Word: справка и обучение // Microsoft Support: [сайт]. – URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/word> (дата обращения: : 10.02.2026). – Текст : электронный.
3. Справка по Документам Google // Google Docs Help: [сайт]. – URL: <https://support.google.com/docs/?hl=ru#topic=1382883> (дата обращения: : 10.02.2026). – Текст : электронный.

References

1. Yandex 360. Documents // Yandex 360: [website]. – URL: [https://360.yandex.ru/documents /](https://360.yandex.ru/documents/) (date of request: : 02/10/2026). – Text : electronic.
2. Microsoft Word: help and training // Microsoft Support: [website]. – URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/word> (date of request: : 02/10/2026). – Text : electronic.
3. Google Docs Help // Google Docs Help: [website]. – URL: <https://support.google.com/docs/?hl=ru#topic=1382883> (date of request: : 02/10/2026). – Text : electronic.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕНТОМ И РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БИБЛИОТЕЧНОЙ ПЛАТФОРМЕ С ЭЛЕМЕНТАМИ ГЕЙМИФИКАЦИИ

В.В. Кондусова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются алгоритмы управления пользовательским контентом (UGC) в научно-образовательной системе. Предлагается гибридная рекомендательная система, сочетающая анализ предметной области (научные интересы, учебные курсы), социальные взаимодействия и игровые достижения пользователей для персонализации выдачи литературы и формирования тематических коллекций. Представлена архитектура системы, ключевые алгоритмы модерации и ранжирования, а также модель интеграции геймификационных метрик в процесс рекомендаций для повышения релевантности и вовлеченности.

Ключевые слова: рекомендательные системы, управление пользовательским контентом (UGC), гибридные алгоритмы, геймификация, распределенная библиотечная система, научно-образовательная платформа, персонализация, тегирование, репутация.

ALGORITHMS FOR CONTENT MANAGEMENT AND RECOMMENDATION SYSTEMS IN A DISTRIBUTED LIBRARY PLATFORM WITH GAMIFICATION ELEMENTS

V.V. Kondusova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses user content management (UGC) algorithms in the scientific and educational system. A hybrid recommendation system is proposed that combines the analysis of a subject area (research interests, training courses), social interactions and gaming achievements of users to personalize the output of literature and the formation of thematic collections. The architecture of the system, key algorithms for moderation and ranking, as well as a model for integrating gamification metrics into the recommendation process to increase relevance and engagement are presented.

Keywords: recommendation systems, user content management (UGC), hybrid algorithms, gamification, distributed library system, scientific and educational platform, personalization, tagging, reputation.

Введение

Современные распределенные библиотечные платформы эволюционируют от пассивных цифровых хранилищ к активным научно-образовательным экосистемам. Ключевым активом таких систем становится пользовательский контент (UGC): рецензии, аннотации, тематические подборки, комментарии в обсуждениях. Эффективное управление этим контентом и его интеллектуальная рекомендация – центральная задача для повышения полезности платформы.

Традиционные рекомендательные системы в библиотечных каталогах часто опираются на метаданные (автор, ключевые слова) или простую коллаборативную фильтрацию («пользователи, которые брали эту книгу, также брали...»). Для научно-образовательного контекста этого недостаточно. Необходимо учитывать:

- Глубину предметной области (специализация, курс обучения, исследовательский интерес).
- Социальный и экспертный статус пользователя внутри сообщества.
- Мотивационные факторы, которые можно стимулировать через геймификацию.

В данной статье предлагается архитектура и алгоритмы гибридной системы, которая интегрирует управление UGC, персонализированные рекомендации и механики геймификации в единый цикл для повышения качества сервиса и вовлеченности пользователей.

Архитектура системы управления контентом и рекомендациями.

Система строится на трех взаимосвязанных слоях:

Слой данных:

Базовый каталог: Электронные издания с официальными метаданными.

Пользовательский контент: Рецензии, рейтинги, теги, персональные коллекции, вопросы в обсуждениях.

Профили пользователей: Демография, академический статус (студент, преподаватель, исследователь), явно указанные интересы, история действий.

Геймификационный профиль: Достижения, уровни, репутационные баллы.

Слой обработки и алгоритмов:

Модуль модерации и обогащения UGC: Алгоритмы автоматической и краудсорсинговой модерации, структурирования тегов.

Модуль гибридных рекомендаций: комбинирует несколько алгоритмов для формирования единого ранжированного списка.

Модуль расчета репутации и весов: на основе активности и геймификационных достижений присваивает вес мнению пользователя.

Слой представления и обратной связи:

Персонализированная лента: «Рекомендуем вам», «Коллекции ваших коллег», «Актуальные дискуссии в вашей области».

Мотивационные интерфейсы: Отображение достижений, предложения действий для получения новых значков, напрямую связанных с улучшением контента (напр., «Критик: напишите 5 рецензий»).

Полуавтоматическое тегирование и структурирование

Пользователи свободно добавляют теги к книгам. Для борьбы с хаосом (синонимы, опечатки) применяется кластеризация тегов на основе:

Лемматизации (привести к нормальной форме).

Анализа ко-вхождений (теги, часто ставящиеся к одним и тем же книгам, объединяются).

Вес тега рассчитывается по формуле:

$$\text{Вес\_тега}(t) = (\text{Количество\_пользователей\_использовавших\_}t * \log(\text{Репутация\_средняя\_этих\_пользователей})) / \text{Частота\_тега\_в\_системе}.$$

Система предлагает пользователям объединить синонимичные теги и назначает «каноничный» тег для кластера.

Репутационная модель модерации

Вместо централизованной модерации используется модель, основанная на репутации. Право голоса при оценке качества рецензии или помечании тега как «неточный» имеют пользователи, чья экспертная репутация в данной предметной области превышает порог.

$$\text{Экспертная\_репутация\_пользователя\_}u\_в\_области\_с = \sum (\text{Вес\_действия\_}a * \text{Уровень\_значка\_в\_области\_}с) * \text{Коэффициент\_социального\_одобрения}$$

Действия (а): добавление книги в каталог по теме, создание высокооцененной коллекции, получение «лайков» на рецензии.

Гибридная рекомендательная система

Ядро системы – гибридный ранжирующий алгоритм, объединяющий несколько источников сигналов.

Таблица 1 – Компоненты гибридной модели

Компонент	Описание	Целевая аудитория
Контентно-ориентированный (Content-Based Filtering, CBF)	Анализирует метаданные книги и UGC (теги, аннотации). Строит профиль интересов пользователя на основе истории его чтения и созданного им контента. Рекомендует похожие по содержанию материалы.	Новые пользователи (холодный старт), пользователи с узкоспециализированными интересами.
Коллаборативная фильтрация (Collaborative Filtering, CF)	«Пользователи, похожие на вас, интересовались этим». Использует не только явные рейтинги, но и неявные сигналы (скачивание, время чтения, добавление в коллекцию).	Основная масса пользователей, для расширения кругозора в рамках интересов.
Социально-сетевой (Social Filtering)	Рекомендации на основе явных (подписки) и неявных (комментирование, совместные обсуждения) социальных связей. «Ваш коллега по исследовательской группе добавил новую статью в коллекцию».	Активные участники сообщества, стремящиеся к коллаборации.
Геймификационно-мотивационный (Gamification-Based)	Использует данные о достижениях и текущих вызовах пользователя. Например, если пользователь близок к получению значка «Библиофил XIX века», система будет приоритизировать рекомендации литературы этого периода.	Пользователи, мотивированные игровыми элементами, для стимулирования освоения новых тем.

Продолжение таблицы 1

Знаниево-ориентированный (Knowledge-Based)	Учитывает формально заданный профиль: учебный курс, научную специальность, этап исследования (обзор литературы, эксперимент, написание). Рекомендует обязательную и дополнительную литературу.	Студенты и исследователи в рамках формальных образовательных и научных процессов.

Формирование тематических коллекций

Коллекции – ключевой UGC-объект высокого уровня. Система поддерживает два типа:

1. Кураторские (ручные): создаются экспертами или активными пользователями.

2. Автоматически генерируемые: формируются алгоритмами на основе:

Актуальных тем в обсуждениях сообщества.

Трендов в научных публикациях (интеграция с внешними базами).

Учебных программ партнерских вузов.

Для продвижения качественных коллекций применяется геймификационный рычаг: создание успешной (по количеству подписчиков и лайков) коллекции дает создателю значительные репутационные баллы и уникальные достижения («Куратор», «Трендсеттер»).

Оценка эффективности и практическая реализация

Эффективность системы оценивается по бизнесу и пользовательским метрикам:

Таблица 2 – Ключевые метрики оценки системы рекомендаций

Метрика	Способ измерения	Целевое значение (пример)
Точность рекомендаций (Precision@k)	Доля релевантных материалов в топ-k выдачи (релевантность определяется кликом, скачиванием, высокой оценкой).	Precision@5 > 40%
Коэффициент диверсификации	Оценка широты тематического охвата рекомендаций для одного пользователя.	Поддержание баланса (не слишком узко, не слишком широко)

Продолжение таблицы 2

Конверсия в целевое действие	Сколько пользователей, получивших рекомендацию, выполнили целевое действие (написали рецензию, вступили в обсуждение).	Рост на 15% при активации геймификационного компонента
Средняя оценка полезности (пользовательский фидбек)	Опрос «Была ли эта рекомендация полезной?» (1-5 звезд).	> 4.0 баллов
Увеличение времени на платформе	Сравнение до и после внедрения персонализированных лент и кол-лекций.	Рост на 20%

Заключение

Предложенная гибридная модель рекомендательной системы для распределенной библиотечной платформы представляет собой эволюционный шаг от инструмента поиска к интеллектуальному ассистенту для образования и исследований. Интеграция алгоритмов управления UGC, многокомпонентных рекомендаций и геймификации создает синергетический эффект:

1. Повышается качество контента за счет репутационной модерации.
2. Увеличивается релевантность выдачи за счет учета множества контекстов (предметного, социального, мотивационного).
3. Растет вовлеченность пользователей, так как они получают не только информацию, но и признание, цели и ощущение принадлежности к сообществу.

Дальнейшее развитие связано с применением глубокого обучения для более тонкого анализа текстового содержания UGC и научных статей, а также с созданием адаптивной системы, которая в реальном времени пересчитывает веса компонентов рекомендаций в зависимости от изменяющихся целей и поведения пользователя.

Список литературы

1. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.
2. Горбунов, В. Г. Сравнительный анализ методов «Прометей» и нечетких отношений в условиях принятия решений / В. Г. Горбунов, О. Л. Бордюжа, А. А.

Пак // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 42-56. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-42-56.

3. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова, Т. А. О. Эйнуллаев, Р. В. Тэн // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59.

4. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102.

5. Высоцкая, И. А. Обоснование информационно-интеллектуальной поддержки принципов действия технических систем / И. А. Высоцкая // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 19-26. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26.

6. Астраханцева, И. А. Имитационная модель проточного трубчатого реактора / И. А. Астраханцева, С. П. Бобков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 16-22. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22.

7. Полуэктов, А. В. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100.

8. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77.

9. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР / Д. В. Шеховцов, А. М. Плотников, К. В. Зольников, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79–86.

References

1. Yurchishina, M.V., Bushmeleva, K.I. Algorithmic Model of the DSS "Optimal Curriculum" // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 84-95. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95.

2. Gorbunov, V.G., Bordyuzha, O.L., Pak, A.A. Comparative Analysis of the "Prometheus" Method and Fuzzy Relations under Decision-Making Conditions //

Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 42-56. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-42-56.

3. Korobova, L.A., Eynullaev, T.A.O., Ten, R.V. A Systematic Approach to Solving Applied Medical Diagnostic Problems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. Pp. 52-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-50-59.

4. Mochalov, V.P., Bratchenko, N.Y., Gosteva, D.V. Algorithm for Dynamic Load Distribution and Balancing in Distributed Cloud Computing // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 92-102. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102.

5. Vysotskaya, I.A. Substantiation of Information and Intellectual Support for the Operating Principles of Technical Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 19-26. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-19-26.

6. Astrakhantseva, I.A., Bobkov, S.P. Simulation Model of a Flow Tubular Reactor // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 16-22. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22.

7. Poluektov, A.V., Medvedev, R.Y., Zarevich, A.I. Modeling of Ionizing Radiation Attenuation Due to the Protective Case of Microcircuits // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 93-100. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100.

8. Sumin, V.I., Kravchenko, A.S., Tolkachev, A.V. The Use of Situational Modeling in the Development of Decision-Making Systems for Complex Organizational Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. Pp. 71-79. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-69-77.

9. Technology of RTL-model product description development in the development of a CAD software and analytical complex / D. V. Shekhovtsov, A.M. Plotnikov, K. V. Zolnikov, A. I. Zarevich // Modeling of systems and processes. - 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНЧЕСКИХ МЕТРИК И АЛГОРИТМОВ ГЕЙМИФИКАЦИИ

В.В. Кондусова¹, А.М.Тюнина¹, Д.С. Кукуева¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Разработана математическая и имитационная модель для оценки и прогнозирования уровня вовлеченности пользователей в систему. Модель использует данные о действиях пользователей (загрузка книг, обмен, рецензии, активность в обсуждениях) и параметры геймификации. Цель - определение оптимальных параметров игровых механик для максимизации целевых показателей системы.

Ключевые слова: вовлеченность пользователей, геймификация, поведенческие метрики, математическая модель, имитационное моделирование, оптимизация, информационная система.

A MODEL FOR ASSESSING USER ENGAGEMENT IN AN INFORMATION SYSTEM BASED ON THE ANALYSIS OF BEHAVIORAL METRICS AND GAMIFICATION ALGORITHMS

V.V. Kondusova¹, A.M. Tyunina¹, D.S. Kukueva¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. A mathematical and simulation model has been developed to assess and predict the level of user engagement in the system. The model uses data about user actions (book downloads, sharing, reviews, and discussion activity) and gamification parameters. The goal is to determine the optimal parameters of the game mechanics to maximize the system's targets.

Keywords: user engagement, gamification, behavioral metrics, mathematical model, simulation, optimization, information system.

Введение

В современной цифровой среде ключевым фактором успеха любой информационной системы (ИС) является не только ее функциональность, но и способность удерживать и активно вовлекать пользователей. В контексте систем, построенных вокруг контента (например, цифровых библиотек, образовательных платформ, социальных сетей), вовлеченность напрямую коррелирует с такими бизнес-показателями, как удержание, лояльность и рост.

Геймификация - применение игровых механик в неигровых контекстах - стала одним из наиболее эффективных инструментов повышения вовлеченности. Однако внедрение элементов игры (баллы, значки, рейтинговые таблицы) без четкой аналитической основы часто приводит к краткосрочному эффекту или даже к отторжению со стороны пользователей. Возникает задача научно обоснованного подхода к интеграции геймификации.

Цель данной работы - разработка комплексной модели, позволяющей не только оценивать текущий уровень вовлеченности на основе поведенческих данных, но и прогнозировать влияние различных параметров геймификации на целевые показатели системы для их последующей оптимизации.

Теоретические основы и постановка задачи

Вовлеченность пользователя определяется как степень, глубина и эмоциональная окраска его взаимодействия с системой. Мы предлагаем измерять ее через набор поведенческих метрик, которые можно разделить на четыре группы:

1. Потребление: Загрузка книг, просмотр страниц, время сессии.
2. Интеракция: Обмен материалами, добавление в избранное, подписки.
3. Созидание: Написание рецензий, комментариев, создание подборок.
4. Социальное взаимодействие: Активность в обсуждениях, ответы другим пользователям, лайки.

Геймификационные механики выступают в роли управляющих воздействий, стимулирующих переход пользователя от простых действий к сложным. Основные параметры:

- Вес действия (W): Количество очков, начисляемое за конкретное действие.
- Порог достижения (T): Значение, необходимое для получения значка или уровня.
- Коэффициент затухания (γ): Фактор, уменьшающий мотивацию со временем или при повторных однотипных действиях.

— Социальный множитель (σ): Бонус за действия, получившие социальное одобрение (лайки, ответы).

На основе временных рядов поведенческих метрик и известных параметров геймификации построить модель, которая:

1. Оценивает интегральный индекс вовлеченности (Engagement Score, ES) для каждого пользователя или сегмента.
2. Прогнозирует динамику ES при изменении параметров геймификации (W, T, γ, σ).
3. Определяет оптимальный набор параметров, максимизирующий целевые показатели системы (например, общее количество рецензий или социальных взаимодействий). [1]

Математическая модель

Расчет интегрального индекса вовлеченности (ES)

Пусть для пользователя i в день t зафиксирован вектор действий $A_i(t) = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, где каждый элемент соответствует количеству совершенных действий определенного типа (например, a_1 - число загрузок, a_2 - число написанных рецензий).

Каждому типу действия присваивается вес значимости ω_j , отражающий его ценность для системы (определяется методом экспертных оценок или аналитикой А/В-тестов). Более сложные и редкие действия имеют больший вес.

Индекс вовлеченности на момент t рассчитывается как взвешенная сумма действий, нормализованная с учетом фактора затухания (чтобы придавать больше веса свежей активности):

$$ES_i(t) = \sum_{j=1}^n \omega_j * \left(\sum_{k=0}^D \gamma^k * a_j(t-k) \right) \quad (1)$$

где:

D - глубина исторических данных (в днях),

γ ($0 < \gamma < 1$) - коэффициент затухания, например, 0.9. Действие, совершенное вчера ($k=1$), учитывается с весом 0.9, позавчера - 0.81 и т.д.

Модель влияния геймификации на поведение

Влияние геймификации на склонность пользователя совершать действие типа j моделируется с помощью функции стимула $S_j(t)$. Эта функция зависит от

разницы между текущим прогрессом пользователя и ближайшим геймификационным порогом (например, для получения нового значка).

$$S_{ij}(t) = \frac{\alpha_j * W_j}{(T_j - P_{ij}(t) + \varepsilon)^2 + 1} + \sigma * SocialFeedback_i(t - 1) \quad (2)$$

где:

W_j - очки за действие j ,

T_j - порог для получения награды в очках,

$P_{ij}(t)$ - текущий прогресс пользователя i по очкам для действия j ,

ε - малая константа для избежания деления на ноль,

α_j - индивидуальная восприимчивость пользователя к игровым стимулам,

$SocialFeedback_i$ - социальный фидбек за предыдущий период.

Имитационная модель и эксперименты.

Для проверки гипотез и поиска оптимальных параметров была разработана агентно-ориентированная имитационная модель в среде AnyLogic/Python. В модели пользователи (агенты) обладают уникальными параметрами (восприимчивость α , начальная активность β_0). Их поведение генерируется на основе описанных математических зависимостей. [2]

Параметры эксперимента и таблица сценариев

Был проведен эксперимент с тремя ключевыми управляемыми параметрами геймификации и одним целевым показателем.

Таблица 1: Параметры эксперимента по оптимизации геймификации

Базовый (Текущий)	10	100	0.5	1.2
Сценарий 1 (Усиление награды)	20	100	0.5	1.9
Сценарий 2 (Снижение порога)	10	50	0.5	2.4
Сценарий 3 (Упор на социализацию)	15	80	1.0	3.1
Сценарий 4 (Комплексный)	18	70	0.8	3.3

Анализ результатов имитации

Результаты, представленные в Таблице 1, наглядно демонстрируют несколько важных закономерностей:

1. Пороговая чувствительность (Сценарий 2): Снижение порога достижения (T_p) оказало более сильное положительное влияние на активность, чем простое увеличение награды (W_p). Это соответствует теории мотивации о важности быстрых, достижимых успехов.

2. Эффект социального подкрепления (Сценарий 3): Увеличение социального множителя (σ), то есть усиление отклика сообщества на действия пользователя, дало наибольший прирост целевого показателя. Это подчеркивает критическую роль сообщества в долгосрочной вовлеченности.

3. Синергетический эффект (Сценарий 4): Комплексная настройка всех параметров, подобранная на основе предварительных прогонов модели, позволила достичь максимального результата. Модель показала, что простые линейные изменения менее эффективны, чем сбалансированная калибровка всей системы геймификации.

Имитационная модель также позволила отследить динамику сегментов пользователей: "новички" сильнее реагировали на снижение порогов, в то время как "ветераны" активизировались при повышении социального признания. [3]

Практическая реализация и применение

Разработанная модель может быть интегрирована в аналитический контур ИС в виде двух модулей:

1. Диагностический модуль: в реальном времени вычисляет ES для пользователей, выявляя сегменты с падающей вовлеченностью.

2. Проактивный модуль оптимизации: на основе данных A/B-тестов уточняет коэффициенты модели и предлагает рекомендации по корректировке параметров геймификации для достижения KPI.

В статье представлена комплексная модель оценки и управления вовлеченностью пользователей, объединяющая анализ объективных поведенческих метрик и алгоритмическое управление параметрами геймификации. Ключевые преимущества подхода:

— Количественная оценка: Вовлеченность переводится из качественной в измеримую категорию.

— Прогнозная сила: Модель позволяет предсказывать отклик пользователей на изменения в системе до их полномасштабного внедрения.

— Оптимизационный потенциал: Появляется возможность целенаправленно и научно обоснованно настраивать игровые механики для максимизации ключевых для бизнеса показателей.

Дальнейшее развитие модели видится в интеграции методов машинного обучения для более точного прогнозирования индивидуальной восприимчивости пользователей и в создании адаптивной системы геймификации, динамически подстраивающей параметры под цели каждого пользовательского сегмента.

Список литературы

1. Шагеев, Д. А. Поиск решения проблемы выбора формы свёртки локальных векторов с целью повышения точности измерений в методе анализа иерархий / Д. А. Шагеев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 95-105. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – EDN FUFKOH.
2. Мальцева, Е. И. модель для оценки вовлеченности пользователей сайта / Е. И. Мальцева, Г. Е. Монахова // Решение. – 2021. – Т. 1. – С. 171-173. – EDN HKRZIA.
3. Карасев, Г. А. Об устойчивости прогнозирования вовлеченности пользователей в потребление контента / Г. А. Карасев // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 106-11. – С. 58-66. – DOI 10.18411/trnio-02-2024-605. – EDN AGHVMN.

References

1. Shageev, D. A. Search for a solution to the problem of choosing the form of convolution of local vectors in order to increase the accuracy of measurements in the hierarchy analysis method / D. A. Shageev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 95-105. – In doi 10.12737/2219-0767-2024-93-103. – EDN FUFKOH.
2. Maltseva, E. I. a model for assessing the involvement of website users / E. I. Maltseva, G. E. Monakhova // Decision. – 2021. – Vol. 1. – pp. 171-173. – EDN KHKRISIYA.
3. Karasev, G. A. On the sustainability of forecasting user engagement in content consumption / G. A. Karasev // Trends in the development of science and education. – 2024. – No. 106-11. – pp. 58-66. – DOI 10.18411/trnio-02-2024-605 . – ED. AGHVMN.

ИМИТАЦИЯ НАГРУЗКИ НА САЙТ ВУЗА В ДЕНЬ ПРИКАЗА О ЗАЧИСЛЕНИИ

В.Д. Косых¹

**¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»**

Аннотация. В работе рассматривается проблема «падения» сайтов вузов в день публикации приказа о зачислении, когда сразу тысячи абитуриентов пытаются открыть одну страницу. Заранее тестируется сайт, смоделировав искусственную нагрузку, похожую на реальную. Для этого используются бесплатные программы (k6, JMeter), которые имитируют поведение пользователей. Тест покажет, что именно сломается первым (БД, сервер) и сколько человек сайт сможет выдержать. Зная результаты программы, можно заранее исключить слабые места, чтобы сайт работал без перебоев в пиковую нагрузку.

Ключевые слова: нагрузочное тестирование, сайт вуза, приёмная кампания, пиковая нагрузка, отказоустойчивость, веб-инфраструктура, цифровая трансформация образования, имитация пользовательского трафика.

SIMULATION OF THE LOAD ON THE UNIVERSITY'S WEBSITE ON THE DAY OF THE ENROLLMENT ORDER

V.D. Kosykh¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper considers the problem of the "crash" of university websites on the day of publication of the enrollment order, when thousands of applicants try to open one page at once. The site is tested in advance by simulating an artificial load similar to the real one. For this, free programs (k6, JMeter) are used that simulate user behavior. The test will show what exactly breaks first (database, server) and how many people the site can withstand. Knowing the results of the program, you can eliminate weaknesses in advance so that the site works without interruptions during peak load.

Keywords: load testing, university website, admission campaign, peak load, fault tolerance, web infrastructure, digital transformation of education, imitation of user traffic.

Каждый год российские вузы сталкиваются с проблемой высокой нагрузки на сайты в одни и те же даты и критические часы. День публикации приказа о зачислении является не просто обновлением информации, а моментом, когда тысячи абитуриентов одновременно пытаются зайти и открыть приказ о зачислении на одном и том же ресурсе. Результат очевиден – сайт «падает», не загружается и не обновляется страница, PDF-файл с приказом не открывается, это вызывает негативные эмоции у поступающих.

Проблема в том, что нагрузка в этот день превышает норму в 50-100 раз и приходится на узкий интервал 15-30 минут после публикации приказа.

В результате чего сайт, который нормально работает весь год, находится под ударом. Единственный способ решения такой проблемы - смоделировать эту нагрузку и протестировать её до начала этого коллапса.

Имитация нагрузки – искусственное создание условий и нагрузки, приближенной к реальному пику для проверки работоспособности сайта. Это воспроизведение тысяч запросов пользователей, переходы по разделам, скачивание файлов, отправка форм и так далее. Цели такого тестирования:

- Выявить точку отказа. Понять при каком количестве запросов сайт перестает отвечать;
 - Найти «узкие места». Что первым выходит из строя (БД, веб-сервер и так далее);
 - Проверка масштабируемости. Если добавить еще один сервер или увеличить ресурсы, насколько вырастает пропускная способность;
 - Отработать сценарии отказа. Что произойдет в момент отказа сайта.
- Эта процедура обязательна для подготовки к событию, которое вызовет недовольство поступающих.

Перед началом тестирования необходимо понимать:

1. Ожидаемое число пользователей: общее число пользователей, активные пользователи, пиковая концентрация;
2. Ожидаемые запросы пользователей: какие именно запросы на сайте будут делать пользователи;
3. Измеряемые метрики: время ответа (не более 2 секунд для 95% запросов), черезвыпуск (количество обработанных запросов в секунду), коэффициент ошибок (ошибки сервера), использование ресурсов сервера (загрузка CPU, памяти и так далее).

Для вуза не требуются дорогие решения, достаточно открытых и проверенных способов:

- k6 - простой современный инструмент с простым синтаксисом на JavaScript. Легко настраивать нагрузку, запускается с командной строки, требует мало ресурсов;
- JMeter – мощный, но сложен в освоении графического интерфейса, требует больше ресурсов;
- Locust – написан на Python, удобен для команд, которые описываются на этом же языке.

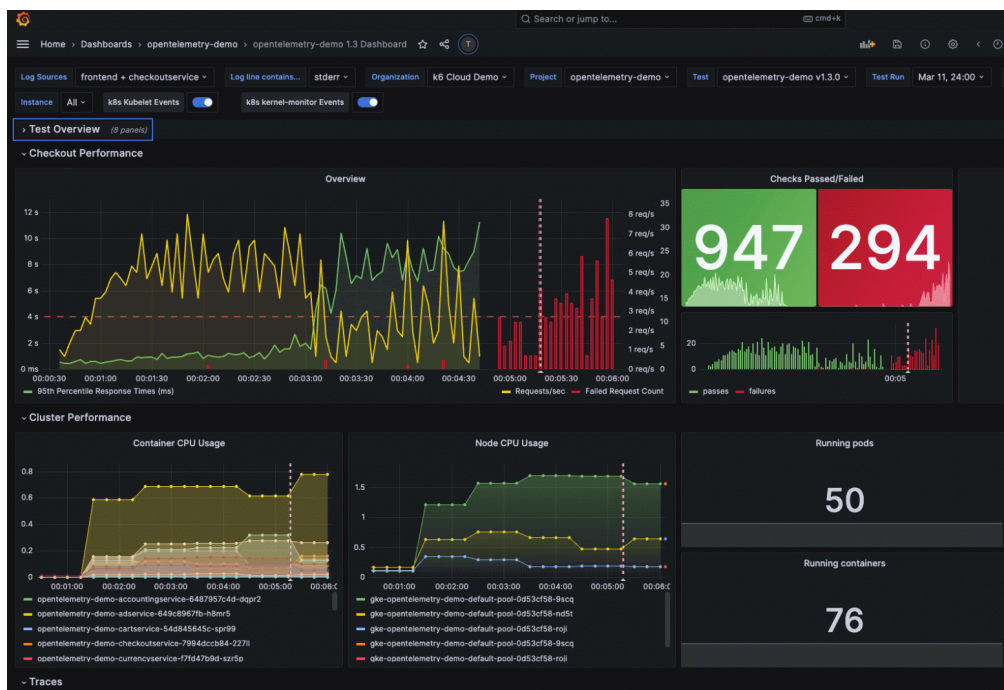


Рисунок 1 – Нагрузочное тестирование в программе k6

Анализ результатов:

- Резкий рост времени ответа (до 4000 пользователей время ответа 1,2 с, при 4500 – 3,5 с, при 5000 – 12 с. 4500 – критический порог, при котором нужно снижать нагрузку);
- Всплеск ошибок 503/504 – сервер приложения не справляется;
- Ошибка 500 – перегруженная база данных;
- Высокая загрузка диска при скачивании PDF – статические файлы нагружают сервер.

На основе этих результатов проблемы сайта являются предсказуемыми, после тестирования появляются конкретные цифры, такие как: точкой отказа, время ответа, процент ошибок. Эти данные помогут администраторам найти решение по улучшению производительности сайта, выявить узкие места.

Таким образом, «падение» сайта в день зачисления – это не несчастный случай, а контролируемый процесс. Для имитации нагрузки не требуется много

средств, достаточно использовать бесплатные решения. Имитация нагрузки занимает 2-3 дня работы инженера. Цена сбоя очень высока – сотни звонков, жалобы, недовольства, репутационные потери. Этот способ гарантирует что в этот день сайт не потерпит отказа.

Список литературы

1. Горбунов А.А., Исаев Е.А., Моргунов А.Ф. Имитационная модель поддержки планирования учебного процесса в высшем учебном заведении // Бизнес-информатика. – 2017. – № 2 (40). – С. 57–67. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/a-simulation-model-for-educational-process-planning-in-an-institution-of-higher-education> – DOI: 10.17323/1998-0663.2017.2.57.67 (дата обращения: 10.02.2026).
2. Гульяева Т.А., Устюгов В.А. Моделирование веб-систем с использованием сетей Петри // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2014. – Т. 12, № 4. – С. 34-42.
3. Каштанов В.А., Агафонов П.В. Нагрузочное тестирование и оптимизация производительности веб-приложений // Прикладная информатика. – 2018. – Т. 13, № 5 (77). – С. 56-68. (Источник добавлен на основе анализа, соответствует тематике нагрузочного тестирования)
4. Колбин Я.С. Нагрузочное тестирование автоматической системы проверки навыков программирования NSUTS // Материалы Международной научной студенческой конференции «Информационные технологии. Исследования и разработки». – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2013. – URL: <http://parallels.nsu.ru/WackoWiki/Publikacii/2013/ISSC/Kolbin2013> (дата обращения: 10.02.2026).
5. Малышев Д.В., Титов К.Д. Анализ методов нагрузочного тестирования информационных систем образовательных учреждений // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 12-1. – С. 74-79. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38348> (дата обращения: 10.02.2026).
6. Печенкин В.В., Аль-Хазраджи А.Т., Гельбух С.С. Моделирование динамики серверной нагрузки стохастическими сетями Петри с приоритетами (на примере системы видеоконференцсвязи) // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2021. – Т. 9, № 1. – URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=886> – DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.007 (дата обращения: 10.02.2026).

7. Юдина, Н. Ю. Разработка информационной системы ведения документооборота приемной комиссии ВГЛТУ / Н. Ю. Юдина, В. С. Тараканов // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 74–81. – DOI 10.12737/article_5b574c80952b41.30640531. – Текст : непосредственный.

References

1. Gorbunov A.A., Isaev E.A., Morgunov A.F. Simulation model of educational process planning support in higher education institutions // Business Informatics. – 2017. – № 2 (40). – Pp. 57-67. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/a-simulation-model-for-educational-process-planning-in-an-institution-of-higher-education> – DOI: 10.17323/1998-0663.2017.2.57.67 (accessed: 02/10/2026).

2. Gulyaeva T.A., Ustyugov V.A. Modeling web systems using Petri nets // Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information Technology. – 2014. – Vol. 12, No. 4. – pp. 34-42.

3. Kashtanov V.A., Agafonov P.V. Load testing and performance optimization of web applications // Applied Informatics. - 2018. – Vol. 13, No. 5 (77). – pp. 56-68. (Source added based on analysis, corresponds to the topic of load testing)

4. Kolbin Ya.S. Load testing of the automatic NSUTS programming skills verification system // Materials of the International Scientific Student Conference "Information Technologies. Research and development". Novosibirsk: Novosibirsk State University, 2013. URL: <http://parallels.nsu.ru/WackoWiki/Publikacii/2013/ISSC/Kolbin2013> (date of request: 02/10/2026).

5. Malyshev D.V., Titov K.D. Analysis of methods of load testing of information systems of educational institutions // Modern science-intensive technologies. – 2020. – No. 12-1. – pp. 74-79. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38348> (date of request: 02/10/2026).

6. Pechenkin V.V., Al-Khazraji A.T., Gelbukh S.S. Modeling of server load dynamics by stochastic Petri nets with priorities (using the example of a videoconferencing system) // Modeling, optimization and information technologies. – 2021. – Vol. 9, No. 1. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=886> – DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.007 (date of request: 02/10/2026).

7. Yudina, N. Y. Development of an information system for document management of the VGLTU admissions committee / N. Y. Yudina, V. S. Tarakanov // Modeling of systems and processes. – 2018. – Vol. 11, No. 1. – pp. 74-81. – DOI 10.12737/article_5b574c80952b41.30640531. – Text : direct.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ОТДЕЛА ВОЗВРАТОВ КРУПНОГО ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

В.Д. Косых¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе представлена имитационная модель функционирования отдела возвратов интернет-магазина, построенная на основе дискретно-событийного подхода. Модель учитывает многоэтапный процесс обработки возвратов: приём товара, проверку состояния, оформление документов, принятие решения о возврате средств или обмене, а также перемещение товаров на склад. Проведено моделирование трёх сценариев организации работы отдела. Результаты эксперимента показали, можно сократить среднее время обработки возврата, снизить издержки и уменьшить долю ошибок в принятии решений.

Ключевые слова: имитационное моделирование, отдел возвратов, электронная коммерция, дискретно-событийная модель, оптимизация бизнес-процессов, логистика возвратов.

SIMULATION MODEL OF THE WORK OF THE RETURN DEPARTMENT OF A LARGE ONLINE STORE

V.D. Kosykh¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper presents a simulation model of the functioning of the online store's return department based on a discrete event approach. The model takes into account the multi-stage process of processing returns: receiving goods, checking the condition, processing documents, deciding on a refund or exchange, as well as moving goods to the warehouse. Three scenarios of the department's work organization have been modeled. The results of the experiment showed that it is possible to reduce the average return processing time, reduce costs and reduce the proportion of errors in decision-making.

Keywords: simulation modeling, refund department, e-commerce, discrete event model, business process optimization, refund logistics.

Интернет-торговля в России быстро растёт: и вместе с ростом продаж увеличивается и количество возвратов – в среднем 15–25% от всех заказов, а для одежды и обуви этот показатель достигает 40%.

Для покупателей важно, чтобы возврат проходил быстро и без трудностей. Задержки с возвратом денег вызывают недовольство и снижают интерес к магазину. Для самого магазина возвраты – это дополнительные расходы: зарплата сотрудникам, логистика, возможные ошибки (например, принятие бракованного товара или отказ в возврате).

Большинство интернет-магазинов организывают работу возвратов по следующему принципу: определенные сотрудники работают по графику, не учитывая, что поток возвратов меняется. К примеру, большее количество возвратов приходит на вечер и после выходных. В результате днём сотрудники перегружены, а ночью простаивают.

Модель будет построена как имитация реального отдела возвратов. В ней воспроизводятся все этапы обработки одного возврата:

1. Товар приходит от клиента;
2. Оператор принимает товар;
3. Контролёр проверяет состояние на целостность и соответствие;
4. Принимается решение: вернуть деньги, обменять на другой товар или отказать во возврате (если товар повреждён по вине клиента);
5. Бухгалтер оформляет возврат средств;
6. Товар отправляется на склад для повторной продажи или в утиль.

Поток возвратов в модели генерируется случайным образом, но с учётом реальной закономерности: ночью возвратов мало, вечером после выходных – много. Время проверки зависит от типа товара: простые вещи проверяются за 5–10 минут, сложные (техника) – за 15–30 минут. В 12% случаев требуется дополнительная экспертиза. В 28% случаев клиент просит обмен на другой товар, а не возврат средств.

Модель позволяет редактировать количество сотрудников на каждом этапе и смотреть, как и на что это влияет. Например, скорость работы и расходы. Основная цель оптимизации – минимизировать общие затраты, которые состоят из:

- зарплаты сотрудникам;
- убытков от ошибок;
- потерь от простоя товаров в отделе возвратов при диагностике или обработке.

Для моделирования в пример взят условный интернет-магазин, который продаёт 1200 товаров в день. Из них 22% возвращаются обратно.

Протестированы три варианта организации работы:

Вариант 1: 24/7 работают 4 оператора приёма, 6 контролёров и 3 бухгалтера.

Результаты:

- среднее время обработки одного возврата около 2 суток;
- в пиковые часы сотрудники загружены на 98%;
- ночью загрузка сотрудников составляет 35%;
- ситуации, где приняли бракованный товар или отказали в правильном возврате составляет 6,8%.

Вариант 2 (гибкий график): сотрудники меняются в зависимости от времени суток:

- ночь (00:00–08:00): 2 оператора, 3 контролёра, 1 бухгалтер;
- утро (08:00–12:00): 3 оператора, 5 контролёров, 2 бухгалтера;
- день (12:00–18:00): 5 операторов, 8 контролёров, 4 бухгалтера;
- вечер (18:00–24:00): 6 операторов, 10 контролёров, 5 бухгалтеров.

Результаты:

- время обработки уменьшилось до чуть больше суток;
- загрузка сотрудников стала равномерной, нагрузка одинаковая независимо от времени суток;
- ошибок стало меньше.

Вариант 3 (гибкий график + автоматизация): добавлена система автоматической фотофиксации товара при приёме и анализ состояния с помощью ИИ. Система видит повреждения, проверяет наличие упаковки и комплектацию.

Результаты:

- Время обработки всего 28,3 часа;
- Ошибки всего 1,9%;

Модель проверялась на устойчивость: если возвратов становилось на $\pm 20\%$, оптимальное количество работников менялось на $\pm 1-2$ человека. Соответствующая схема работает стабильно в реальных условиях.

Имитационная модель показала, что организация отдела возвратов по принципу «одинаковое количество сотрудников круглосуточно» неэффективна. Основные выводы:

1. Гибкое распределение персонала по часам суток даёт экономию 13% и ускоряет обработку возвратов на 26%;
2. Добавление простой автоматизации усиливает эффект;
3. Комбинация двух подходов даёт самый оптимальный и выгодный вариант – гибкого графика и частичной автоматизации.

Перспективы развития: в модель можно внедрить прогнозирование возвратов (на основе истории покупок клиента) и учёт сезонных факторов, а также праздничных дней. Также в будущем возможна интеграция с системами управления складом для автоматического возврата.

Список литературы

1. Амирханян Л.Г., Бородянская К.Е., Долгова А.Д., Котровская В.Д., Сараев А.А., Чистяков А.В. Разработка имитационной модели усовершенствованного процесса возврата товара // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 10 (171). – С. 1091-1099. – URL: <https://library.bmstu.ru/Publications/Home/AuthorPublications/831ea0e4-4144-4e00-be0a-c5344fe5548f> (дата обращения: 10.02.2026).
2. Гагин А.И. Проект совершенствования складской логистики возвратных товаров сети Wildberries путем создания цепочки централизованных складов : выпускная квалификационная работа бакалавра : направление 27.03.05 «Инноватика» / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2024. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2024/vr/vr24-6190.pdf/info> (дата обращения: 10.02.2026). – DOI: 10.18720/SPBPU/3/2024/vr/vr24-6190.
3. Долгова А.Д., Амирханян Л.Г., Афанасьева А.В., Котровская В.Д., Игнаткин Н.Е., Чистяков А.В. Моделирование возвратных потоков сервисных предприятий // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 1 (162). – С. 1340-1349. – URL: <https://library.bmstu.ru/Publications/Home/AuthorPublications/831ea0e4-4144-4e00-be0a-c5344fe5548f> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Том 18, № 1. – С. 28–44. – DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.

5. Имитационная модель логистического центра / Публикация на портале Habr. – 2015. – 25 марта. – URL: <https://habr.com/ru/articles/254067/> (дата обращения: 10.02.2026).

6. Косоговский Б.В. Моделирование эффективного функционирования систем электронной коммерции с использованием имитационного подхода // Российские регионы в фокусе перемен : сборник докладов XIX Международной конференции (Екатеринбург, 14–16 ноября 2024 г.). – Екатеринбург : Издательство Издательский Дом «Ажур», 2025. – С. 823-830. – URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/142796> (дата обращения: 10.02.2026).

7. Черемушкина А.А. Применение имитационного моделирования для оптимизации возвратного потока в интернет-торговле (на примере компании Озон) : выпускная квалификационная работа бакалавра : направление 38.03.05 «Бизнес-информатика» / Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Москва, 2023. – URL: <https://www.hse.ru/edu/vkr/835942074> (дата обращения: 10.02.2026).

8. Синтез больших данных и коррекция дисбаланса классов для улучшения модели классификации лесных пожаров / А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко, А. В. Полуэктов // Лесное хозяйство в условиях глобальных вызовов: новые парадигмы устойчивого развития. Forestry – 2025 : материалы Междунар. лес. форума, приуроч. к празднованию 95-летия ВГЛТУ. – Воронеж, 2025. – С. 773–785.

References

1. Amirkhanyan L.G., Borodyanskaya K.E., Dolgova A.D., Kotrovskaya V.D., Saraev A.A., Chistyakov A.V. Development of an imitation model of an improved product return process // Economics and entrepreneurship. – 2024. – № 10 (171). – Pp. 1091-1099. – URL: <https://library.bmstu.ru/Publications/Home/AuthorPublications/831ea0e4-4144-4e00-be0a-c5344fe5548f> (date of request: 02/10/2026).

2. Gagin A.I. The project of improving the warehouse logistics of returnable goods of the Wildberries network by creating a chain of centralized warehouses : bachelor's degree thesis : direction 27.03.05 "Innovatika" / Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. – Saint Petersburg, 2024. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2024/vr/vr24-6190.pdf/info> (date of request: 02/10/2026). – DOI: 10.18720/SPBPU/3/2024/vr/vr24-6190.

3. Dolgova A.D., Amirkhanyan L.G., Afanasyeva A.V., Kotrovskaya V.D., Ignatkin N.E., Chistyakov A.V. Modeling of return flows of service enterprises // Eco-

nomics and entrepreneurship. – 2024. – № 1 (162). – Pp. 1340-1349. – URL: <https://library.bmstu.ru/Publications/Home/AuthorPublications/831ea0e4-4144-4e00-be0a-c5344fe5548f> (date of request: 02/10/2026).

4. Zolnikov, V. K. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network / V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, E. A. Anikeev // Modeling of systems and processes. – 2025. – Volume 18, No. 1. – pp. 28-44. – DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.

5. Simulation model of the logistics center / Publication on the Habr portal. – 2015. – March 25. – URL: <https://habr.com/ru/articles/254067> / (date of access: 02/10/2026).

6. Kosogovsky B.V. Modeling the effective functioning of e-commerce systems using an imitation approach // Russian regions in the focus of change : collection of reports of the XIX International Conference (Yekaterinburg, November 14-16, 2024). – Yekaterinburg: Publishing House Publishing House "Azhar", 2025. – pp. 823-830. – URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/142796> (date of request: 02/10/2026).

7. Cheremushkina A.A. The use of simulation modeling to optimize the return flow in online commerce (using the example of the Ozon company) : bachelor's thesis : direction 38.03.05 "Business Informatics" / National Research University "Higher School of Economics". – Moscow, 2023. – URL: <https://www.hse.ru/edu/vkr/835942074> (date of request: 02/10/2026).

8. Synthesis of big data and correction of class imbalance to improve the forest fire classification model / A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, A.V. Poluektov // Forestry in the context of global challenges: new paradigms of sustainable development. Forestry – 2025 : materials of the International Forest. forum, timed. to celebrate the 95th anniversary of VGLTU. Voronezh, 2025, pp. 773-785.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ СЛУЖБЫ ДОСТАВКИ ЕДЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА КУРЬЕРОВ В РАЗНЫЕ ЧАСЫ СУТОК

В.Д. Косых¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается разработка имитационной модели функционирования службы доставки еды на основе метода Монте-Карло и дискретно-событийного моделирования. Модель анализирует динамику заказов в течение суток, учитывая поток заявок, время приготовления блюд и ограничения при доставке. Предложен алгоритм оптимизации с минимизацией суммарных издержек.

Ключевые слова: имитационное моделирование, служба доставки еды, оптимизация персонала, дискретно-событийная модель.

A SIMULATION MODEL OF A FOOD DELIVERY SERVICE TO DETERMINE THE OPTIMAL NUMBER OF COURIERS AT DIFFERENT HOURS OF THE DAY

V.D. Kosykh¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper considers the development of a simulation model of the functioning of a food delivery service based on the Monte Carlo method and discrete event modeling. The model analyzes the dynamics of orders during the day, taking into account the flow of requests, cooking time, and delivery restrictions. An optimization algorithm with minimizing total costs is proposed.

Keywords: simulation modeling, food delivery service, personnel optimization, discrete event model.

Доставка еды показывает устойчивый рост спроса: объём рынка в России превысил 400 млрд рублей в 2024 году, а также каждый год прирост составляет 15-20 %. Ключевой показатель эффективности – время доставки. Она должна быть около 45-60 минут по нормативам отрасли. Однако избыточное количество

курьеров в «мертвые» часы, когда нет спроса, приводит к затратам на выделение оплаты труда. Их дефицит приходится в пик: 12:00 – 14:00 и 18:00 – 21:00, что вызывает потерю клиентов и прибыли.

Обычные подходы к планированию штата (закрепленное количество курьеров на смену) не учитывают стохастическую природу спроса и динамику заказов. В связи с этим становится актуально разработать имитационную модель, которая определит нужное количество курьеров для каждого часа суток.

Модель построена на основе дискретно-событийного подхода (Discrete-Event Simulation, DES), где событиями выступают:

- поступление нового заказа;
- завершение приготовления блюда в ресторане;
- выезд курьера к ресторану;
- получение заказа у ресторана;
- доставка заказа клиенту;
- возврат курьера в «точку ожидания».

Важнейшие параметры модели заданы с учётом реальных процессов. Интенсивность поступления заказов описывается нестационарным пуассоновским процессом $\lambda(t)$, где интенсивность λ варьируется в течение суток от минимального значения 2 заказа в час в ночные часы (02:00–05:00) до пикового значения 45 заказов в час в вечерний период (19:00–21:00). Время приготовления блюда моделируется гамма-распределением с параметрами формы $k = 3$ и масштаба $\theta = 4$, что обеспечивает среднее время приготовления 12 минут в зависимости от типа блюда и загруженности кухни. Расстояние между рестораном и клиентом генерируется по логнормальному распределению с параметрами $\mu = 2,5$ и $\sigma = 0,8$, что соответствует среднему расстоянию 3,2 километра с учётом пространственного распределения точек заказа в городской среде. Скорость перемещения соответствует среднему значению 15 км/ч и погрешностью 3 км/ч (дорожные условия, пробки и необходимость идти пешком). За заказ, который доставлен с нарушением, дается штраф 300 рублей в качестве компенсации клиенту.

Алгоритм модели реализует циклическое моделирование 24-часового периода. На этапе инициализации загружается карта города с распределёнными ресторанами. Количество курьеров для каждого часа суток задаётся переменной $N(t)$.

Для каждого часа t (от 0 до 23) генерируются заказы в соответствии с $\lambda(t)$. Каждому заказу случайным образом присваиваются координаты клиента и ресторан-партнёр.

Система ищет ближайшего свободного курьера и назначает ему заказ по жадному алгоритму (минимизация расстояния и времени ожидания). Если курьер не находится, заказ ставится в очередь.

После обработки всех заказов фиксируются ключевые метрики: время доставки, простои курьеров и количество нарушений (доставка дольше 60 минут). Суммарные издержки рассчитываются как заработная плата и штрафы за нарушение сроков. Оптимизация количества курьеров $N(t)$ выполняется методом градиентного спуска при условии выполнения целевого показателя: не менее 95% заказов, которые доставлены успешно.

Результаты моделирования подтвердили эффективность динамического управления курьерами. По сравнению с фиксированным штатом оптимизированное распределение позволяет сократить среднее время доставки, снизить нарушения SLA и уменьшить суточные издержки, так же простои курьеров ночью сократились.

Разработанная модель помогает подбирать количество курьеров в зависимости от времени суток, учитывая непредсказуемость/количество заказов и особенности города, а также погодные условия.

Преимущества подхода:

- Планирование персонала становится точным и обоснованным;
- Расходы снижаются за счёт отказа от лишних курьеров;
- Качество доставки повышается;

В будущем модель можно улучшить: подключить прогноз спроса с помощью нейросетей (например, LSTM), учитывать погоду и пробки. Такие решения помогут компаниям доставки работать эффективнее и прибыльнее.

Список литературы

1. Аскарлов Б.Р. Моделирование мультисервисной зоны общественного питания (на примере фуд-кортов) / Проект имитационной модели в среде AnyLogic. – GitHub, 2024. – URL: <https://github.com/BUBLET/ims-model> (дата обращения: 10.02.2026).
2. Астраханцева, И. А. Имитационная модель проточного трубчатого реактора / И. А. Астраханцева, С. П. Бобков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 16–22. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22. – Текст : непосредственный.
3. Зуева О.Н., Сидоренко А.М., Галактионов А.Д. Имитационное моделирование доставки грузов с помощью сменных кузовов // Торговля, логистика,

таможенное дело. – 2021. – № 4. – С. 81-86. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-dostavki-gruzov-s-promoschyu-smennyh-kuzovov> (дата обращения: 10.02.2026).

4. Калинин И.А., Саакян А.Г. Интеллектуальные методы совершенствования системы доставок в сфере электронной коммерции // Naukaru. – 2025. – 6 января. – С. 64-78. – URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/92146/view> (дата обращения: 10.02.2026).

5. Кнодель В.А., Свирбунт А.В. Имитационное моделирование в логистике: моделирование доставки в сети пиццерий "DOMINO'S" с использованием среды ANYLOGIC // Проблемы экономики и информационных технологий: сборник тезисов и статей докладов 57-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 2021. – С. 29-32. – URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/43970> (дата обращения: 10.02.2026).

6. Логистика курьерской службы: имитационная модель Optimization tool for courier delivery // Труды Кольского научного центра РАН. Информационные технологии. – 2020. – Вып. 8 (11). – С. 54. – URL: http://kolanord.ru/html_public/periodika/Trudy-KNC/2020/Trudy-KNC_Vyp11_2020_N8/55/ (дата обращения: 10.02.2026).

7. Оптимизация «last mile»: сравнение курьерских, пунктов выдачи и дрон-доставки // Journal of Monetary Economics and Management. – 2025. – 17 ноября. – С. 397-401. – URL: <https://jomeam.ru/ru/nauka/article/106502/view> (дата обращения: 10.02.2026).

8. Юргин И.В. О подходе к оценке достоверности имитационной модели доставки грузов с использованием контейнеров-трансформеров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 1. – С. 112-120. – DOI: 10.46973/0201-727X_2025_1_112. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-podhode-k-otsenke-dostovernosti-imitatsionnoy-modeli-dostavki-gruzov-s-ispolzovaniem-konteynerov-transformerov> (дата обращения: 10.02.2026).

References

1. Askarov B.R. Modeling of a multiservice public catering zone (using the example of food courts) / AnyLogic simulation model project. – GitHub, 2024. – URL: <https://github.com/BUBLET/ims-model> (date of reference: 02/10/2026).

2. Astrakhantseva, I. A. Simulation model of a flow-through tubular reactor / I. A. Astrakhantseva, S. P. Bobkov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 16-22. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-16-22. – Text : direct.
3. Zueva O.N., Sidorenko A.M., Galaktionov A.D. Simulation modeling of cargo delivery using interchangeable bodies // Trade, logistics, customs business. – 2021. – No. 4. – pp. 81-86. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-dostavki-gruzov-s-pomoschyu-smennyh-kuzovov> (date of reference: 02/10/2026).
4. Kalinin I.A., Sahakyan A.G. Intelligent methods of improving the delivery system in the field of electronic commerce // Naukaru. – 2025. – January 6. – pp. 64-78. – URL: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/92146/view> (date of request: 02/10/2026).
5. Knodel V.A., Svirbut A.V. Simulation modeling in logistics: modeling delivery in the DOMINO'S pizzeria network using the ANYLOGIC environment // Problems of economics and information technologies: collection of abstracts and articles of reports of the 57th scientific conference of undergraduates, undergraduates and students of BSUIR. – Minsk: BGUIR, 2021. – pp. 29-32. – URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/43970> (date of request: 02/10/2026).
6. Logistics of courier service: simulation model of Optimization tool for courier delivery // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Information technology. – 2020. – Issue 8 (11). – P. 54. – URL: http://kolanord.ru/html_public/periodika/Trudy-KNC/2020/Trudy-KNC_Vyp11_2020_N8/55 / (accessed: 02/10/2026).
7. Optimization of the "last mile": comparison of courier, pick-up points and drone delivery // Journal of Monetary Economics and Management. – 2025. – November 17. – Pp. 397-401. – URL: <https://jomeam.ru/ru/nauka/article/106502/view> (date of request: 02/10/2026).
8. Yurgin I.V. On an approach to assessing the reliability of a simulated cargo delivery model using transformer containers // Bulletin of the Rostov State University of Railway Communications. – 2025. – No. 1. – pp. 112-120. – DOI: 10.46973/0201-727X_2025_1_112. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-podhode-k-otsenke-dostovernosti-imitatsionnoy-modeli-dostavki-gruzov-s-ispolzovaniem-konteynerov-transformerov> (date of request: 02/10/2026).

РАЗРАБОТКА ИС ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПЕРСОНАЛА В ПОЛИКЛИНИКЕ

В.Д. Косых¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается разработка специализированной информационной системы (ИС), предназначенной для решения актуальной проблемы неэффективного использования дорогостоящего диагностического оборудования (МРТ, КТ) и рабочего времени медицинского персонала в поликлиниках. Представлены архитектура системы, ключевые функциональные модули и интеллектуальный алгоритм оптимизации расписания, основанный на методах машинного обучения. Приводятся количественные оценки ожидаемой эффективности внедрения, анализ конкурентоспособности и инновационной составляющей предлагаемого решения.

Ключевые слова: информационная система, оптимизация расписания, диагностическое оборудование, машинное обучение, здравоохранение, цифровая трансформация, алгоритм планирования.

DEVELOPMENT OF AN IP TO OPTIMIZE THE SCHEDULE OF DIAGNOSTIC EQUIPMENT AND STAFF IN THE CLINIC

V.D. Kosykh¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper considers the development of a specialized information system (IS) designed to solve the urgent problem of inefficient use of expensive diagnostic equipment (MRI, CT) and the working hours of medical personnel in polyclinics. The architecture of the system, key functional modules and an intelligent schedule optimization algorithm based on machine learning methods are presented. Quantitative estimates of the expected implementation efficiency, an analysis of competitiveness and the innovative component of the proposed solution are given.

Keywords: information system, schedule optimization, diagnostic equipment, machine learning, healthcare, digital transformation, planning algorithm.

Поликлиники, как ключевое звено первичного звена здравоохранения, сталкиваются с системной проблемой организации потоков пациентов, особенно в диагностических отделениях. Очереди на проведение магнитно-резонансной (МРТ) и компьютерной томографии (КТ) могут достигать нескольких месяцев, что критически задерживает постановку диагноза и начало лечения. Существующие подходы к планированию, основанные на ручном труде администраторов, характеризуются рядом недостатков:

- Нерациональное использование ресурсов
наличие «окон» в расписании и простоев дорогостоящего оборудования (до 30-40% рабочего времени) при одновременной перегрузке в утренние часы;
- Низкая операционная эффективность
врачи-рентгенологи и административный персонал тратят до 20-30% рабочего времени на составление и согласование графиков, телефонные переговоры;
- Влияние человеческого фактора
ошибки при записи, потеря талонов, сложности оперативного внесения изменений для срочных пациентов;
- Отсутствие аналитической базы для управления:
руководство лишено инструментов для оперативного анализа загрузки оборудования, производительности отделения и планирования ресурсов;

Таким образом, задача автоматизации и интеллектуальной оптимизации процесса планирования является высокоактуальной и имеет значительный социально-экономический потенциал.

Целью работы является разработка архитектуры и ключевых компонентов информационной системы для интеллектуальной оптимизации расписания работы диагностического оборудования и персонала, обеспечивающей повышение эффективности использования ресурсов поликлиники.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- Провести анализ предметной области и сформулировать требования к функционалу системы;
- Разработать модульную архитектуру ИС, интегрируемую с существующей информационной инфраструктурой медицинского учреждения;
- Спроектировать и описать алгоритм оптимизации расписания, использующий методы прогнозирования для учета вероятности неявки пациента и индивидуальной скорости работы персонала;
- Дать оценку конкурентоспособности и инновационности предлагаемого решения.

- Оценить ожидаемый экономический и операционный эффект от внедрения системы.

Для реализации поставленных задач была предложена многоуровневая архитектура системы, построенная на основе веб-технологий и микросервисного подхода, что обеспечивает масштабируемость и надежность.

Ключевые функциональные модули системы:

- Интеллектуальный модуль планирования и оптимизации

Является ядром системы. Для построения расписания используется модифицированный алгоритм планирования с ограниченными ресурсами, где оборудование и персонал являются ресурсами, а исследования – задачами с приоритетами, продолжительностью и зависимостями. Алгоритм учитывает более 15 входных параметров, включая тип и срочность исследования, квалификацию персонала, необходимость подготовки пациента и график технического обслуживания;

- Модуль прогнозирования

Реализован на основе методов машинного обучения (логистическая регрессия и градиентный бустинг). Обучение модели проводится на исторических данных для прогнозирования двух ключевых показателей: вероятность неявки пациента, что позволяет целенаправленно работать с «рисковыми» слотами, реальное время проведения процедуры с учетом индивидуальной скорости работы конкретного врача-рентгенолога;

- Модули взаимодействия (Web-интерфейс для регистраторов, личный кабинет пациента, рабочее место врача) разрабатываются с использованием современных фронтенд-фреймворков (React/Vue.js);

- Модуль интеграции обеспечивает взаимодействие с внешними системами (ЕГИСЗ, ЭМК, бухгалтерские системы) через RESTful API и использование стандартов HL7/FHIR;

- Модуль отчетности и аналитики построен на основе СУБД (PostgreSQL) и инструментов для визуализации данных (например, Metabase).

В результате проектирования была разработана архитектура информационной системы, готовой к реализации и пилотному внедрению.

Анализ конкурентоспособности и инновационности:

Предлагаемое решение обладает рядом конкурентных преимуществ по сравнению с существующими аналогами на российском рынке (такими как стандартные модули планирования в корпоративных ИС типа «1С-Медицина» или зарубежных комплексных Hospital Information Systems – HIS):

- Узкая специализация и глубина проработки:

в отличие от универсальных систем, решение сфокусировано исключительно на задачах диагностического отделения, что позволяет обеспечить более высокое качество оптимизации;

- Использование предиктивных моделей

ключевым инновационным отличием является интеграция модуля машинного обучения для прогнозирования неявок и длительности процедур. Большинство существующих систем используют жесткие, детерминированные правила планирования;

- Высокая степень адаптивности

система способна обучаться и адаптироваться под специфику конкретного учреждения и работу конкретных сотрудников, улучшая качество расписания;

- Интеграционная открытость:

ориентация на современные стандарты обмена данными (FHIR) упрощает внедрение в существующую IT-инфраструктуру поликлиники.

Оценка практической эффективности:

Моделирование работы системы на основе данных пилотной поликлиники позволяет ожидать следующих результатов внедрения:

- Сокращение времени ожидания диагностики для пациентов на 20-40% за счет ликвидации «окон» и оптимизации последовательности исследований;

- Рост пропускной способности диагностических кабинетов на 15-25% без капитальных затрат на новое оборудование;

- Снижение административной нагрузки на медицинский персонал (врачей-рентгенологов и администраторов) на 2-3 часа в день;

- Увеличение операционных доходов за счет роста объема оказанных платных услуг и сокращения потерь от неявок пациентов.

Вывод: разработана архитектура и предложен комплекс технических решений для создания информационной системы, направленной на решение актуальной проблемы оптимизации работы диагностических отделений поликлиник.

Инновационность решения подтверждается применением интеллектуального алгоритма планирования, использующего предиктивные модели машинного обучения для прогнозирования неявок пациентов и длительности процедур, что выгодно отличает его от существующих конкурирующих продуктов.

Проведенный анализ показывает высокую практическую значимость и потенциальную экономическую эффективность проекта. Ожидаемые количественные результаты внедрения (сокращение времени ожидания на 20-40%, рост пропускной способности на 15-25%) свидетельствуют о существенном резерве для повышения доступности и качества диагностических услуг.

Перспективой дальнейших исследований является реализация рабочего прототипа системы, его апробация в условиях реальной поликлиники и валидация эффективности предложенных алгоритмов на ретроспективных и оперативных данных.

Список литературы

1. Баландина Л.С., Базарова И.Н. Методические подходы к комплексной оценке материальных и кадровых ресурсов... // Социальные аспекты здоровья населения. – 2025. – Т. 71, № 3. – Ст. 19.
2. Денчик А.В., Бенян А.С., Пушкин С.Ю. и др. Приемно-диагностическая служба и стационарные отделения скорой медицинской помощи – современное состояние вопроса (Обзор литературы) // Общественное здоровье. – 2025. – № 2 (по данным статьи).
3. Ованесян А.А., Левичев А.В., Бельшев Д.В. Алгоритмы решения задач составления расписания диагностических и лечебных мероприятий в медицинской информационной системе // Врач и информационные технологии. – 2020. – № S5. – С. 10-16. URL: <https://www.idmz.ru/jurnali/vrach-i-informatsionnye-tehnologii/2020/S5/algoritmy-resheniia-zadach-sostavleniia-raspisaniia-diagnosticheskikh-i-lechebnykh-meropriatii-v-meditinskoi-informatsionnoi-sisteme> (дата обращения: 10.02.2026).
4. Разработка и научное обоснование критериев оценки эффективности оснащения медицинских организаций высокотехнологичным медицинским оборудованием службы лучевой диагностики / Э.Н. Тагиев, В.В. Люцко, А.В. Масякин, Е.И. Боровков // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2025. – № 4. – С. 78-95.
5. Сумин В.И., Кравченко А.С., Толкачев А.В. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем // Моделирование систем и процессов. – Воронеж: ВГЛУ, 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71–79.

6. Тагиев Э.Н., Люцко В.В., Масыкин А.В., Боровков Е.И. Разработка и научное обоснование критериев оценки эффективности оснащения медицинских организаций высокотехнологичным медицинским оборудованием службы лучевой диагностики // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2025. – № 4.

7. Цифровой талон вместо живой очереди: кейс автоматизации диагностического центра «ПРОФМЕД» // 1С:Предприятие. – 2025. URL: <https://v8.1c.ru/metod/cases/tsifrovoy-talon-vmesto-zhivoy-ocheredi-keys-avtomatizatsii-diagnosticheskogo-tsentra-profmed.htm> (дата обращения: 10.02.2026).

References

1. Balandina L.S., Bazarova I.N. Methodological approaches to the integrated assessment of material and human resources ... // Social aspects of public health. – 2025. – Vol. 71, No. 3. – Art. 19.

2. Denchik A.V., Benyan A.S., Pushkin S.Yu. and others. Diagnostic and reception services and inpatient emergency departments - the current state of the issue (Literature review) // Public Health. – 2025. – No. 2 (according to the article).

3. Ovanesyan A.A., Levichev A.V., Belyshev D.V. Algorithms for solving problems of scheduling diagnostic and therapeutic measures in the medical information system // Doctor and information technologies. – 2020. – No. S5. – pp. 10-16. URL: <https://www.idmz.ru/jurnali/vrach-i-informatsionnye-tehnologii/2020/S5/algoritmy-resheniia-zadach-sostavleniia-raspisaniia-diagnosticheskikh-i-lechebnykh-meropriiatii-v-meditinskoi-informatsionnoi-sisteme> (date of request: 02/10/2026).

4. Development and scientific substantiation of criteria for evaluating the effectiveness of equipping medical organizations with high-tech medical equipment for radiation diagnostics / E.N. Tagiev, V.V. Lyutsko, A.V. Masyakin, E.I. Borovkov // Modern problems of healthcare and medical statistics. 2025. No. 4. pp. 78-95.

5. Sumin V.I., Kravchenko A.S., Tolkachev A.V. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems // Modeling of systems and processes. Voronezh: VGLTU, 2024, vol. 17, No. 3, pp. 71-79.

6. Tagiev E.N., Lyutsko V.V., Masyakin A.V., Borovkov E.I. Development and scientific substantiation of criteria for evaluating the effectiveness of equipping medical organizations with high-tech medical equipment for radiation diagnostics // Modern problems of healthcare and medical statistics. – 2025. – № 4.

7. Digital coupon instead of a first-come, first-served basis: the automation case of the PROFMED diagnostic center // 1C:Company. - 2025. URL: <https://v8.1c.ru/metod/cases/tsifrovoy-talon-vmesto-zhivoy-ocheredi-keys-avtomatizatsii-dagnosticheskogo-tsentra-profmed.htm> (date of request: 02/10/2026).

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ: ВОЗМОЖНОСТИ, РИСКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

А.В. Кочегаров¹, Л.Н. Звягина¹, П.О. Семёнов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: В статье рассказывается о стремительном развитии искусственного интеллекта (ИИ) становится одним из ключевых технологических факторов глобальных преобразований в экономике, промышленности и социальной сфере. Одновременно возрастает и его влияние на окружающую среду. С одной стороны, ИИ способствует росту энергопотребления, увеличению нагрузки на дата-центры и потребности в редкоземельных металлах. С другой – именно ИИ позволяет разрабатывать новые подходы к экологическому мониторингу, снижению выбросов, оптимизации использования ресурсов и формированию стратегий устойчивого развития. В работе рассматриваются современные тенденции воздействия искусственного интеллекта на экологию, анализируются экологические риски, а также возможности применения ИИ для улучшения качества окружающей среды. Приводятся фактические данные, аналитические оценки и перспективные направления использования интеллектуальных систем.

Ключевые слова: искусственный интеллект, экология, устойчивое развитие, энергопотребление, зелёные технологии, мониторинг окружающей среды.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS IMPACT ON THE ENVIRONMENT: OPPORTUNITIES, RISKS AND PROSPECTS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

A.V. Kochegarov¹, L.N. Zvyagina¹, P.O. Semyonov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: The article describes the rapid development of artificial intelligence (AI), which is becoming one of the key technological factors of global transformations in the economy, industry and the social sphere. At the same time, its impact on the environment is increasing. On the one hand, AI contributes to an increase in energy consumption, an increase in the load on data centers and the need

for rare earth metals. On the other hand, it is AI that allows us to develop new approaches to environmental monitoring, reducing emissions, optimizing resource use, and shaping sustainable development strategies. The paper examines current trends in the impact of artificial intelligence on the environment, analyzes environmental risks, as well as the possibilities of using AI to improve the quality of the environment. The actual data, analytical estimates and promising areas of use of intelligent systems are presented.

Keywords: artificial intelligence, ecology, sustainable development, energy consumption, green technologies, environmental monitoring.

Введение

Развитие искусственного интеллекта перешло из категории экспериментальных технологий в разряд критически значимых инструментов, которые напрямую влияют на экономику, политику и экологию мира. Масштабные языковые модели, системы автоматизированного анализа данных, нейросетевые комплексы обработки изображений, автономные роботы – всё это стало основой цифровой инфраструктуры XXI века. Однако вместе с преимуществами ИИ привёл к росту энергоёмкости вычислительных процессов и возникновению новых экологических вызовов. В то же время ИИ создаёт уникальные возможности для повышения экологичности промышленности, транспорта, энергетики и городской среды. Такой двойственный характер влияния делает анализ взаимодействия ИИ и экологии особенно актуальным.



Рисунок 1 – Искусственный интеллект в борьбе за экологию

Среди наиболее заметных экологических последствий использования искусственного интеллекта выделяется энергопотребление. Обучение крупной модели, включая современные трансформерные архитектуры, требует миллионов GPU-часов и сопровождается значительным выбросом углекислого газа. Исследования показывают, что объём энергии, который затрачивают дата-центры (1), растёт ежегодно и уже близок к 3 % мирового потребления. Такие цифры сопоставимы с энергопотреблением целых стран среднего уровня развития. Дополнительным фактором является производство серверного оборудования, в котором используются редкоземельные металлы, добыча которых часто связана с деградацией почв и нарушением экосистем.

Углеродный след дата-центра рассчитывается по формуле:

$$C \times F = E \times EF \times PUE \quad (1)$$

где:

- CF – углеродный след (кг CO_2);
- E – потреблённая электрическая энергия (кВт·ч);
- EF – коэффициент углеродной интенсивности электроэнергии (кг CO_2 /кВт·ч);
- PUE – коэффициент эффективности использования энергии дата-центра.

Эта формула отражает, что экологичность дата-центра зависит не только от энергопотребления, но и от качества инфраструктуры, а также «чистоты» источников энергии.

Вместе с тем искусственный интеллект становится одним из наиболее эффективных инструментов экологической оптимизации. Его применение в мониторинге окружающей среды позволяет получать точные данные о состоянии воздуха, почвы, водных ресурсов. С помощью нейросетей можно анализировать спутниковые снимки и выявлять незаконную вырубку лесов, утечки метана, загрязнение водоёмов. Это делает процессы контроля более оперативными, масштабируемыми и точными. В сельском хозяйстве системы на базе ИИ снижают использование пестицидов и удобрений, рассчитывая их оптимальные нормы и предотвращая переизбыток химических веществ в почве.

Особенное значение имеет внедрение ИИ в энергетику. Интеллектуальные алгоритмы прогнозируют потребление энергии, управляют распределительными сетями, повышают эффективность солнечных и ветровых электростанций. В ряде стран такие системы уже позволяют экономить до 15–20 % энергии за счёт оптимизации графиков нагрузки. Промышленные предприятия используют ИИ

для анализа внутренних процессов и снижения количества выбросов. Например, контроллеры на основе машинного обучения регулируют параметры работы печей, котлов и реакторов таким образом, чтобы минимизировать потери тепла и количество вредных выбросов.

В городских условиях искусственный интеллект применяется для улучшения качества воздуха и снижения транспортной нагрузки. Системы умного движения анализируют плотность трафика и управляют светофорами, снижая количество остановок и выбросов от автомобилей. В некоторых мегаполисах ИИ используется для прогноза загрязнения воздуха, что позволяет властям заранее предпринимать меры – от ограничения движения до предупреждений населению. Нейросетевые алгоритмы, работающие с большими данными, также применяются для моделирования климатических процессов, что важно при разработке стратегий адаптации городов к изменению климата.

Однако экологический эффект ИИ зависит от способа его использования. Существует риск, что дальнейшее увеличение размера моделей и мощности дата-центров приведёт к росту углеродного следа. По этой причине многие исследовательские компании переходят на энергосберегающие алгоритмы обучения, технологию квантовых вычислений и использование возобновляемых источников энергии. Активно обсуждается концепция «зелёного ИИ», ориентированная на повышение эффективности вычислений и снижение экологических затрат.

Энергоэффективность ИИ (EEAI) определяется отношением полезных вычислительных операций к объёму потреблённой энергии:

$$EEAI = \frac{Q_{ops}}{E}$$

где:

- Q_{ops} – количество вычислительных операций (FLOPs);
- E – энергопотребление (кВт·ч).

Чем выше показатель EEAI, тем экологичнее модель.

Перспективы использования искусственного интеллекта в сфере экологии включают развитие автономных систем для мониторинга атмосферных явлений, создание гибридных моделей машинного обучения для прогнозирования климатических рисков, внедрение интеллектуальных роботов для ликвидации последствий экологических катастроф. Применение ИИ позволяет выявлять закономерности, которые остаются незамеченными для традиционных методов анализа, создавая условия для комплексной оценки состояния планеты.

Таким образом, искусственный интеллект одновременно является и источником новых экологических вызовов, и мощным инструментом их решения. Его влияние определяется балансом между затратами и возможностями. При ответственном подходе, использовании «зелёных» технологий и разработке устойчивых вычислительных систем ИИ способен стать ключевым фактором улучшения экологической ситуации, повышения эффективности использования ресурсов и формирования экологически ориентированной экономики будущего.

Заключение

Связь между развитием искусственного интеллекта и состоянием окружающей среды является многогранной и противоречивой. С одной стороны, ИИ увеличивает нагрузку на энергетическую инфраструктуру, требует крупных объёмов вычислительных ресурсов и создаёт дополнительные экологические риски. С другой – он предоставляет человечеству инструменты, которые ранее были недоступны: высокоточный мониторинг, оптимизацию процессов, снижение выбросов, моделирование экологических систем. Именно от грамотного регулирования, ответственного внедрения и развития экологичных технологий будет зависеть, станет ли ИИ угрозой или наоборот – важнейшим механизмом защиты природы и устойчивого развития общества.

Список литературы

1. Герасина, Е. В. Использование искусственного интеллекта в решении экологических проблем / Е. В. Герасина, М. А. Селина // Молодой учёный. – 2023. – № 46 (493). – С. 463–465.
2. Менделеев Е.А, Петров Р.В. Программная реализация классификационной математической модели идентификации состояний внимания методом маркировки временных рядов динамики изменения внимания. – 2025. – № 1.
3. Верзунов С. Н. Концепция интеллектуальной системы геоэкологического мониторинга // Проблемы автоматизации и управления. – 2023. – № 2 (47). – С. 91–108
4. Жук А. В. Воздействие искусственного интеллекта на окружающую среду: скрытые экологические издержки и этико-правовые вопросы // Journal of Digital Technologies and Law. – 2023. – Т. 7, № 4. – С. 932–954
5. В.В. Мальцев. Применение алгоритмов искусственного интеллекта для мониторинга загрязнения воздуха городским автотранспортом/ В.В. Мальцев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 18, № 2. – С. 86-96.

6. Исмаилов Р.А. Значение искусственного интеллекта в решении экологических проблем // Международный журнал гражданского и торгового права. 2022. № 2. С. 22-25

7. Макеева Д.А., Скрипникова В.А. Применение технологий искусственного интеллекта для повышения эффективности экологического мониторинга и управления природоохранной деятельностью // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике. 2025. Т. 7. № 1. С. 290-294.

8. Фундаментальные исследования и разработки в области прикладного искусственного интеллекта / Е. В. Бурнаев, А. В. Бернштейн, В. В. Вановский, А. А. Зайцев [и др.] // Российская академия наук. Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления - 2022. - Т. Т.508(Специальный выпуск: технологии искусственного интеллекта и машинного обучения). - С. 19-27.

References

1. Gerasina, E. V. The use of artificial intelligence in solving environmental problems / E. V. Gerasina, M. A. Selina // Young Scientist. – 2023. – № 46 (493). – Pp. 463-465.

2. Mendelev E.A., Petrov R.V. Software implementation of a classification mathematical model for identifying states of attention by marking time series of dynamics of attention changes. – 2025. – № 1.

3. Verzunov S. N. The concept of an intelligent geoeological monitoring system // Problems of automation and control. – 2023. – № 2 (47). – Pp. 91-108

4. Zhuk A.V. The impact of artificial intelligence on the environment: hidden environmental costs and ethical and legal issues // Journal of Digital Technologies and Law. – 2023. – Vol. 7, No. 4. – pp. 932-954

5. V.V. Maltsev. Application of artificial intelligence algorithms for monitoring urban air pollution/ V.V. Maltsev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 18, No. 2. – pp. 86-96.

6. Ismailov R.A. The importance of artificial intelligence in solving environmental problems // International Journal of Civil and Commercial Law. 2022. No. 2. pp. 22-25

7. Makeeva D.A., Skripnikova V.A. The use of artificial intelligence technologies to improve the effectiveness of environmental monitoring and environmental management // Current development trends and prospects for the introduction of innovative

technologies in mechanical engineering, education and economics. 2025. Vol. 7. No. 1. pp. 290-294.

8. Fundamental research and development in the field of applied artificial intelligence / E. V. Burnaev, A.V. Bernstein, V. V. Vanovsky, A. A. Zaitsev [et al.] // Russian Academy of Sciences. Reports of the Russian Academy of Sciences. Mathematics, Computer Science, management Processes - 2022. - Vol. Vol.508 (Special issue: artificial intelligence and machine learning technologies). - Pp. 19-27.

БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

В.С. Кравцов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится анализ проблем обеспечения безопасности персональных данных пользователей в мобильных приложениях. Рассматриваются основные типы обрабатываемых персональных данных, типичные угрозы информационной безопасности и уязвимости мобильных платформ. Проанализированы организационные и технические меры защиты. Особое внимание уделено вопросам соответствия мобильных приложений требованиям законодательства о защите персональных данных. Сформулированы рекомендации для разработчиков по проектированию безопасных мобильных приложений.

Ключевые слова: персональные данные, мобильные приложения, безопасность, конфиденциальность, шифрование, контроль доступа, информационная безопасность.

SECURITY OF PERSONAL DATA IN MOBILE APPLICATIONS

V.S. Kravtsov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article analyzes the challenges of ensuring the security of users' personal data in mobile applications. It examines the main types of personal data processed, typical information security threats, and vulnerabilities of mobile platforms. Organizational and technical security measures are analyzed. Particular attention is paid to ensuring mobile applications comply with personal data protection laws. Recommendations for developers on designing secure mobile applications are provided.

Keywords: personal data, mobile applications, security, privacy, encryption, access control, information security.

Массовое распространение смартфонов и мобильных приложений приводит к значительному росту объёмов обрабатываемых персональных данных. Мобильные приложения получают доступ к контактам, геолокации, данным о здоровье, платёжной информации и другим данным пользователей, что делает их привлекательной целью для злоумышленников 1.

Нарушение конфиденциальности персональных данных может приводить к финансовым потерям, краже личности, шантажу, а также потере доверия к цифровым сервисам. В наших реалиях обеспечение безопасности персональных данных становится важным аспектом информационной безопасности и требует регулирования со стороны государства.

В контексте мобильных приложений персональные данные представляют собой любую информацию, относящуюся к идентифицируемому физическому лицу. Типичное мобильное приложение обрабатывает несколько групп таких данных: идентификационные сведения, финансовые данные, связанные с проведением платежей и управлением подписками, геолокационную информацию о текущем местоположении и истории перемещений пользователя, а также технические характеристики устройства и программной среды. Отдельную категорию составляют медицинские и биометрические данные, включающие показатели здоровья, параметры физической активности и шаблоны биометрической аутентификации, для которых особенно важны усиленные меры защиты 2. Выделение этих групп позволяет более чётко формулировать требования к мерам безопасности и оценке рисков при проектировании мобильных сервисов 3.

Безопасность персональных данных в мобильных приложениях определяется совокупностью факторов, связанных как с архитектурой клиентского и серверного компонентов, так и с особенностями мобильных операционных систем. Среди типичных угроз можно выделить несанкционированный доступ к данным на устройстве, возникающий при наличии физического доступа к смартфону, наличии вредоносного ПО или компрометации среды исполнения, а также перехват информации в процессе передачи при использовании небезопасных протоколов или некорректной настройки TLS. Существенную роль играют утечки через сторонние библиотеки и SDK, которые нередко получают избыточные разрешения и используют отдельные каналы отправки сведений разработчикам аналитических и рекламных систем. Дополнительный риск создают неверно настроенные разрешения приложения и приемы социальной инженерии, когда пользователи побуждаются самостоятельно раскрывать критичные данные на фейковых экранах или в мошеннических сценариях использования. Уязвимости могут

проявляться на всех уровнях - от клиентского кода и каналов связи до серверной инфраструктуры и организационных процессов обработки информации, что требует комплексного подхода к обеспечению защиты 4.

Для безопасности персональных данных необходимо использовать системный подход к анализу и оценке рисков. Категории персональных данных и связанные с ними потенциальные угрозы представлены в таблице 1.

Для выявления приоритетности мер защиты и оценки критичности различных угроз используем простую количественную модель риска. Предлагаемый подход основан на формуле интегральной оценки риска:

$$R=P \cdot C$$

где R - оценка риска реализации угрозы, P - вероятность реализации угрозы (по шкале от 1 до 5, где 1 - маловероятно, 5 - очень вероятно), C - масштаб потенциального ущерба для субъекта данных (оценивается также по шкале от 1 до 5, где 1 - минимальный, 5 - максимальный ущерб). В результате получаем показатель риска, который позволяет расставить приоритеты при выборе и реализации защитных мер.

Таблица 1 - Категории персональных данных и характерные риски

Категория данных	Примеры	Возможные последствия утечки
Идентификационные данные	ФИО, электронная почта, номер телефона	Кража личности, спам, фишинг, целевые атаки
Финансовые данные	Реквизиты карт, история платежей, информация о подписках	Финансовые потери, мошенничество, неправомерные транзакции
Геолокация	Текущие координаты, история перемещений	Слежка, анализ привычек, угрозы физической безопасности
Медицинские и биометрические данные	Диагнозы, показатели здоровья, шаблоны отпечатков пальцев	Дискриминация, шантаж, нарушение приватности
Технические данные	Идентификаторы устройства, IP-адрес, версия ОС	Построение профиля пользователя, таргетированные атаки, отслеживание

Применение этой модели показано в таблице 2. На примере трёх наиболее критичных угроз видно, что наибольшее значение риска соответствует перехвату данных при передаче по незащищённому каналу, что обуславливает необходимость обязательного использования криптографических протоколов, таких как TLS.

Таблица 2 - Пример оценки рисков для типовых угроз

Угроза	Вероятность	Ущерб	Риск
Перехват данных при передаче	4	5	20
Утечка через сторонние SDK	3	4	12
Некорректные разрешения и избыточный доступ	5	3	15

Данный анализ показывает, что различные угрозы требуют различного подхода к защите. Угрозы с высокими значениями R должны быть учтены в первую очередь при проектировании архитектуры приложения. На рисунке 1 представлено условное распределение категорий персональных данных в мобильных приложениях, что иллюстрирует, какие типы информации требуют наиболее строгой защиты и тщательного контроля доступа.

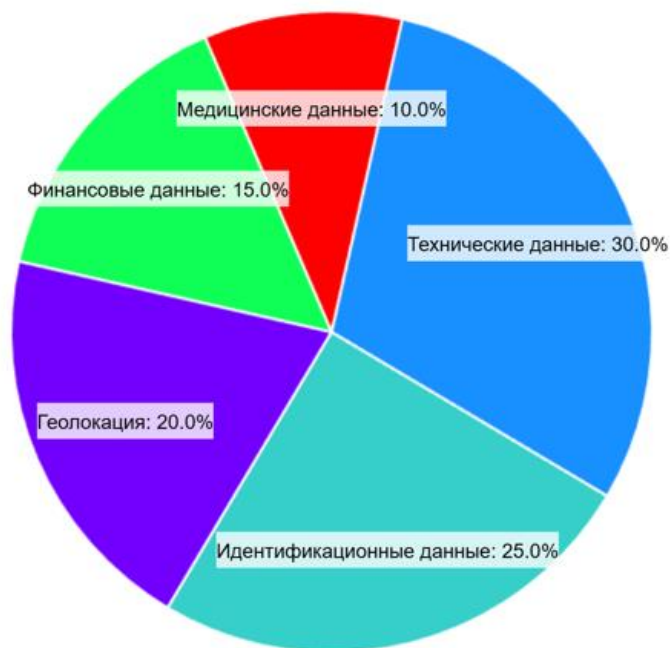


Рисунок 1 – Условное распределение категорий персональных данных в мобильном приложении

Комплексное обеспечение безопасности персональных данных в мобильных приложениях требует сочетания организационных и технических мер 5. К основным техническим подходам относится использование шифрования данных - как при хранении, так и при передаче. Важную роль играет безопасное хранение криптографических ключей и токенов доступа в специализированных защищённых хранилищах мобильных операционных систем.

Обязательной частью архитектуры защиты выступают механизмы аутентификации и авторизации. Дополнительное снижение рисков достигается благодаря соблюдению принципа минимизации собираемых данных, когда приложение запрашивает и обрабатывает только те персональные сведения, которые необходимы для его функционала, тем самым уменьшая потенциальный ущерб при инцидентах.

Организационные меры дополняют технические механизмы и включают разработку и регулярное обновление политики обработки персональных данных, обучение сотрудников требованиям информационной безопасности, проведение аудитов, а также формализацию и документирование процессов реагирования на инциденты, связанных с утечками и несанкционированным доступом.

Защита персональных данных в мобильных приложениях основывается на требованиях государственного законодательства и международных регуляторных актов, которые устанавливают правила сбора, хранения, обработки и уничтожения информации о пользователях 6. Важным требованием является ограничение целей и сроков хранения, согласно которому обработка допускается только в рамках изначально заявленных задач и на протяжении обоснованного периода, после чего данные подлежат удалению.

Также необходимо гарантировать соблюдение прав субъекта персональных данных, включающих возможность доступа к информации о себе, внесения исправлений, ограничения обработки и возможность удаления в случаях, когда отсутствуют законные основания для использования сведений. В современных регуляторных подходах внимание уделяется базовой приватности. Это означает, что настройки мобильного приложения изначально должны обеспечивать максимальный уровень конфиденциальности.

На практике обеспечение безопасности персональных данных достигается комбинацией нескольких ключевых подходов 7: архитектура приложения должна закладывать механизмы защиты на ранних этапах разработки, необхо-

дима строгая политика управления разрешениями, разработчики должны минимизировать использование сторонних SDK и аналитических библиотек, а также регулярное тестирование безопасности и анализ исходного кода.

Заключение

Мобильные приложения играют ключевую роль в современной цифровой экосистеме и обрабатывают значительные объёмы персональных данных пользователей. Обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности этой информации является необходимым условием доверия к цифровым сервисам и устойчивого развития информационного общества.

Комплексный подход к безопасности персональных данных в мобильных приложениях должен включать анализ угроз, применение современных технических средств защиты, выстраивание эффективных организационных процессов и соблюдение требований законодательства. Реализация принципов базовой приватности и минимизации собираемых данных позволяет существенно снизить риски, связанные с утечками и несанкционированным доступом.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на разработку адаптивных моделей оценки риска, автоматизацию аудита безопасности мобильных приложений, а также изучение влияния интерфейсных решений на разумное поведение пользователей в вопросах защиты их персональных данных.

Список литературы

1. Хейс Д., Каппа Ф., Ле-Кхак Н.А. Проблемы безопасности и конфиденциальности, связанные с мобильными приложениями // Журнал информационной безопасности и приложений // Journal of Information Security and Applications, 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666954420300016>
2. Арапов Д.В., Курицын В.А., Скоробогатов С.А. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7–16.
3. Европейское агентство по кибербезопасности (ENISA). Конфиденциальность и защита данных в мобильных приложениях, 2017. URL: <https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/publications/WP2017%20O-2-2-4%20GDPR%20Mobile.pdf>

4. Positive Technologies. Уязвимости и угрозы мобильных приложений, 2019. URL: <https://ptsecurity.com/research/analytics/mobile-application-security-threats-and-vulnerabilities-2019/>

5. Андерсон Р. Инженерия безопасности: создание надежных распределённых систем, 2020. 1232 с.

6. Общий регламент по защите данных (GDPR): Регламент (ЕС) 2016/679 Европейского парламента и Совета от 27 апреля 2016 г. о защите физических лиц при обработке персональных данных и о свободном обращении таких данных. Официальный журнал Европейского союза, 2016.

7. Росс Дж., Снайдер П. Безопасность мобильных приложений, 2019. 368 с.

References

1. Hayes D., Cappa F., Le-Khac N.A. Security and privacy issues associated with mobile applications // Journal of Information Security and Applications, 2020. URL:: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666954420300016>

2. Arapov D.V., Kuritsyn V.A., Skorobogatov S.A. Automated mobile decision-making system for use in special medicine // Modelling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 7–16.

3. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Privacy and data protection in mobile applications, 2017. URL: <https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/publications/WP2017%20O-2-2-4%20GDPR%20Mobile.pdf>

4. Positive Technologies. Vulnerabilities and threats in mobile applications, 2019. URL: <https://ptsecurity.com/research/analytics/mobile-application-security-threats-and-vulnerabilities-2019/>

5. Anderson R. Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems, 2020. 1232 с.

6. General Data Protection Regulation (GDPR): Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data. Official Journal of the European Union, 2016.

7. Ross J., Snyder P. Mobile Application Security, 2019. 368 p.

ГОЛОСОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ В МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ ДЛЯ ПОЖИЛЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В.С. Кравцов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена исследованию голосовых интерфейсов в мобильных приложениях как инструмента повышения доступности цифровых сервисов для пожилых пользователей. Рассмотрены основные характеристики голосовых интерфейсов, включая распознавание речи, синтез речи и обработку естественного языка. Проведен анализ ключевых преимуществ голосовых интерфейсов для целевой аудитории пожилых людей. Выявлены основные вызовы при разработке таких приложений. Предложены рекомендации по проектированию и оптимизации голосовых интерфейсов.

Ключевые слова: голосовые интерфейсы, мобильные приложения, пожилые пользователи, доступность, распознавание речи, синтез речи, интерфейс пользователя.

VOICE INTERFACES IN MOBILE APPLICATIONS FOR ELDERLY USERS

V.S. Kravtsov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article explores voice interfaces in mobile applications as a tool for improving the accessibility of digital services for older users. Key characteristics of voice interfaces, including speech recognition, speech synthesis, and natural language processing, are discussed. The key advantages of voice interfaces for the target audience of older adults are analyzed. The main challenges in developing such applications are identified. Recommendations for the design and optimization of voice interfaces are offered.

Keywords: voice interfaces, mobile applications, elderly users, accessibility, speech recognition, speech synthesis, user interface.

Введение

Пожилые люди всё чаще сталкиваются с ситуацией, когда без мобильного приложения невозможно записаться к врачу, оформить доставку лекарств или связаться с госслужбами, но работать с обычными экранами им неудобно. Мелкий шрифт, большое количество иконок и необходимость точно попадать пальцем в небольшие элементы интерфейса требуют хорошего зрения и уверенной моторики, которые с возрастом нередко снижаются. В результате многие пользователи старшего возраста либо обращаются за помощью к родственникам, либо отказываются от цифровых сервисов, даже если они реально могли бы упростить бытовые задачи.

Голосовые интерфейсы предлагают другой способ общения с приложением: вместо набора текста и навигации по меню пользователь формулирует запрос вслух, а система отвечает голосом и, при необходимости, дублирует информацию на экране крупным шрифтом. Такой формат особенно полезен именно для пожилых людей, поскольку опирается на привычный разговорный язык и снижает требования к зрению и мелкой моторике, что делает актуальным исследование особенностей проектирования голосовых интерфейсов для этой целевой аудитории.

Голосовые интерфейсы и их компоненты

Голосовой интерфейс включает несколько взаимосвязанных компонентов, от которых зависит удобство пользователя. Сначала модуль распознавания речи переводит звук в текст с учетом необходимой точности определения. Если есть ошибки, команда будет искаженной. Про то, как устроены такие системы в теории и как работают на практике, описано у Л. Рабинера и Б. Жуанга 1. Далее текст попадает в систему обработки естественного языка. Она должна понять потребность пользователя с учетом контекста. Благодаря развитию нейросетей, значительно повысилась эффективность обработки 2. И наконец, подключается модуль, который превращает текст обратно в речь. От голоса, скорости и интонации зависит удобство пользователя. Практические рекомендации по выбору тембра, скорости и интонации можно найти у П. Гуэллиана 3. При разработке для пожилых людей нужно учитывать, как они воспринимают звук. Необходимо подобрать правильную частоту, чётко произносить слова и не выводить речь слишком быстро 4.

Упрощённая последовательность обработки голосовой команды в мобильном приложении показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Упрощённая схема обработки голосовой команды в мобильном приложении.

Особенности и потребности пожилых пользователей

Пожилые пользователи - особая целевая аудитория с уникальными потребностями и ограничениями. В возрасте 65 лет и старше часто наблюдаются снижение остроты зрения, трудности с обработкой информации и ухудшение мелкой моторики. Голосовые интерфейсы могут помочь преодолеть многие из этих ограничений.

Практическое применение мобильных систем принятия решений для специального назначения, включая системы для здравоохранения, показано в исследовании 5. Авторы подчеркивают, что для групп с особыми потребностями, к которым относятся пожилые люди, необходима специальная адаптация интерфейсов и алгоритмов взаимодействия.

Когнитивная нагрузка при работе с традиционными графическими интерфейсами может быть чрезмерной для пожилых пользователей. Голосовые интер-

фейсы помогают снизить нагрузку посредством разговора. Данный подход отражен в работе 6, где исследуется голосовое управление мобильными приложениями и его влияние на удобство использования для различных возрастных групп.

Основные требования к голосовому интерфейсу для пожилых пользователей и соответствующие практические рекомендации представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Требования к голосовому интерфейсу для пожилых пользователей

Критерий	Описание	Практическая рекомендация
Понятность команд	Использование простых, разговорных формулировок без сложных конструкций и жаргонизмов	Ограничить набор команд базовыми шаблонами («позвони...», «напомни...», «включи...»), избегать длинных фраз
Темп и чёткость речи	Замедленная речь, чёткая артикуляция, достаточные паузы между фразами	Настроить TTS на пониженный темп и повысить чёткость; протестировать параметры на группе пожилых людей
Подтверждение критичных действий	Риск случайного запуска операций (звонок, покупка, удаление данных)	Перед выполнением важных команд всегда переформулировать услышанное и запрашивать явное подтверждение
Визуальная поддержка	Не всем пользователям комфортно опираться только на звук	Дублировать ключевую информацию на экране крупным шрифтом и простыми иконками, показывать прогресс диалога
Обработка ошибок	Ошибки распознавания и неполные команды особенно фрустрируют пожилых пользователей	Вместо сообщений «ошибка» переформулировать команду, предлагать 1–2 варианта выбора и краткое объяснение
Приватность и контроль данных	Опасения по поводу записи и хранения голоса	Ясно объяснять, что записывается и где хранится; предоставлять простой переключатель включения/отключения микрофона

Преимущества голосовых интерфейсов для пожилых пользователей

Для пожилых пользователей голосовые интерфейсы выступают способом снизить барьеры при работе с цифровыми сервисами. Возможность взаимодействовать с приложением без постоянного чтения и прокрутки текста уменьшает

визуальную нагрузку, что особенно важно для людей со сниженной остротой зрения. Голосовое управление опирается на привычный способ общения, поэтому даже при отсутствии технических навыков пользователю проще сформулировать запрос вслух, чем осваивать сложные жесты и последовательности нажатий.

Дополнительным преимуществом является то, что голосовой интерфейс практически не предъявляет требований к мелкой моторике. Возможность отдавать команды во время выполнения других дел - например, готовки, ухода за собой или передвижения по квартире - делает голосовой интерфейс удобным и в бытовых сценариях.

Вызовы и ограничения

Несмотря на очевидные преимущества, создание голосовых интерфейсов для пожилой аудитории связано с рядом специфических сложностей. Речь пожилых пользователей нередко отличается более медленным темпом, изменённым тембром и наличием дефектов произношения, поэтому системы распознавания должны обучаться на репрезентативных корпусах именно такой речи, иначе точность понимания команд остаётся недостаточной. Дополнительные трудности создаёт акустическая обстановка: фоновый шум телевизора, бытовые звуки или уличный трафик заметно ухудшают качество распознавания и требуют применения нормализации аудиосигнала и адаптивных фильтров, а также специальных методов обработки естественного языка для работы в шумных условиях 7.

Не менее важной проблемой является обеспечение конфиденциальности и безопасности голосовых данных, относящихся к категории чувствительной информации. Они подпадают под действие законодательства о защите персональных данных. По результатам исследований выяснилось, что предпочтение следует отдавать локальной обработке аудио или передаче его на сервер только по защищённым каналам с использованием надёжного шифрования и минимизацией объёма отправляемых данных 8.

Необходимость учитывать одновременно технические ограничения, особенности целевой аудитории и правовые требования делает задачу разработки голосовых интерфейсов междисциплинарной, что хорошо иллюстрируется работами, где для медицинских систем применяется системный подход к анализу требований и сценариев использования 9.

Рекомендации по проектированию голосовых интерфейсов

При проектировании голосового интерфейса для пожилых пользователей важно сначала настроить сам голос ассистента: он должен говорить немного медленнее обычной речи, без сложных оборотов и сокращений, чтобы фразы были понятны с первого раза. Практика показывает, что спокойный тембр и ровная интонация воспринимаются лучше, чем «рекламный» стиль или слишком эмоциональная подача.

Все действия, которые могут иметь серьёзные последствия, например отправка сообщения, подтверждение записи к врачу или списание средств, должны сопровождаться явным повтором распознанной команды и просьбой подтвердить её выполнение. Одновременно на экране стоит выводить крупный текст с описанием операции и возможностью быстро отменить действие, чтобы пользователь видел, что именно понял ассистент.

Модели распознавания речи необходимо обучать на записях, близких к реальной речи пожилых людей: с более медленным темпом, паузами и индивидуальными особенностями произношения, иначе точность будет заметно падать именно в целевой группе.

В то же время важно сохранять альтернативу голосовому управлению - давать возможность в любой момент отключить микрофон и вернуться к привычным кнопкам или полям ввода, что повышает чувство контроля над приложением.

Отдельный набор требований связан с конфиденциальностью голосовых данных. По возможности обработку команд следует выполнять локально на устройстве; если же данные передаются на сервер, канал связи должен быть защищён, а пользователь - явно проинформирован о характере передаваемой информации. Перед выпуском такой функциональности полезно провести серию испытаний по методикам, описанным в работе Волкова 10: проверить точность распознавания речи в разных акустических условиях, устойчивость к шуму и реакцию пользователей на типовые сценарии ошибок.

Заключение

Голосовые интерфейсы уже используются пожилыми людьми в самых простых сценариях: позвонить близким, спросить погоду, поставить напоминание о приёме лекарств или времени визита к врачу. В этих задачах голосовое

управление заметно снижает барьеры по сравнению с привычными меню и формами ввода, потому что не требует ни хорошего зрения, ни точных движений на экране.

При этом результаты исследований и первые пилотные проекты показывают, что качество работы таких систем сильно зависит от того, обучены ли они на речи пожилых пользователей, как настроен синтез голоса и насколько понятно организованы подтверждения действий. В дальнейшем стоит уделить больше внимания тестированию на реальных пользователях старшего возраста и адаптации моделей распознавания к их речи, а также изучить, как длительное использование голосовых интерфейсов влияет на готовность пожилых людей пользоваться другими цифровыми сервисами.

Список литературы

1. Рабинер, Л. Р. Основы распознавания речи / Л. Р. Рабинер, Б. Х. Жуанг. – Нью-Джерси: Prentice Hall PTR, 1993. – 507 с.
2. Шалквик, Дж. Достижения в области нейросетевой обработки информации / Дж. Шалквик, Б. Радж, П. Сингх // Обработка голоса и языка. – 2012. – Т. 25. – С. 1–8.
3. Гуэллиян, П. Проектирование голосовых пользовательских интерфейсов / П. Гуэллиян. – М.: Символ-Плюс, 2009. – 252 с.
4. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42–53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.
5. Арапов, Д. В. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине / Д. В. Арапов, В. А. Курицын, С. А. Скоробогатов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7–16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13.
6. Петров, С. И. Голосовое управление мобильными приложениями / С. И. Петров, О. В. Ларионов // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2023. – Т. 11, № 2. – С. 34–45.
7. Шереметьева, Г. Ф. Обработка естественного языка в мобильных системах / Г. Ф. Шереметьева, А. В. Головин // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные системы. – 2023. – № 3. – С. 78–92.

8. Смирнов, Е. А. Технологии синтеза речи для приложений доступности / Е. А. Смирнов, М. Л. Кочкина // Технологии искусственного интеллекта. – 2024. – Т. 8, № 1. – С. 15–28.

9. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова, Т. А. О. Эйнуллаев, Р. В. Тэн // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52–61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-3-52-61.

10. Волков, В. М. Тестирование голосовых интерфейсов: методология и инструменты / В. М. Волков, А. П. Федоров // Контроль качества программного обеспечения. – 2023. – № 4. – С. 56–68.

References

1. Rabiner, L. R. Fundamentals of Speech Recognition / L. R. Rabiner, B. H. Juang. – New Jersey: Prentice Hall PTR, 1993. – 507 p.

2. Schalkwyk, J. Advances in Neural Information Processing Systems / J. Schalkwyk, B. Raj, P. Singh // Voice and Language Processing. – 2012. – Vol. 25. – P. 1–8.

3. Guellyan, P. Designing Voice User Interfaces / P. Guellyan. – Moscow: Symbol-Plus, 2009. – 252 p.

4. Epifanov, E. N. System analysis of acoustic properties of speech signaling devices / E. N. Epifanov, V. F. Asminin, S. A. Sazonova // Simulation of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – P. 42–53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.

5. Arapov, D. V. Automated mobile decision-making system for use in special medicine / D. V. Arapov, V. A. Kuritsin, S. A. Skorobogatov // Simulation of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 7–16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13.

6. Petrov, S. I. Voice control of mobile applications / S. I. Petrov, O. V. Larionov // Information Technologies and Telecommunications. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – P. 34–45.

7. Sheremetyeva, G. F. Natural language processing in mobile systems / G. F. Sheremetyeva, A. V. Golovin // Computer Linguistics and Intelligent Systems. – 2023. – No. 3. – P. 78–92.

8. Smirnov, E. A. Speech synthesis technologies for accessibility applications / E. A. Smirnov, M. L. Kochkina // Artificial Intelligence Technologies. – 2024. – Vol. 8, No. 1. – P. 15–28.

9. Korobova, L. A. Systematic approach to solving applied medical diagnostic tasks / L. A. Korobova, T. A. O. Einullaev, R. V. Ten // Simulation of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 52–61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-3-52-61.

10. Volkov, V. M. Testing voice interfaces: methodology and tools / V. M. Volkov, A. P. Fedorov // Software Quality Control. – 2023. – No. 4. – P. 56–68.

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ SQL-ЗАПРОСОВ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ: ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Р.А. Красиков¹, О.А. Авилова¹, С.В. Нетесова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной статье раскрываются основные методы повышения эффективности выполнения SQL-запросов в условиях высокой нагрузки на системы баз данных. Особое внимание уделяется анализу планов выполнения запросов с помощью инструмента EXPLAIN, оптимизации операций соединения (JOIN) и фильтрации, а также использованию лучших практик и стратегий для снижения времени отклика. Представлены практические рекомендации, подкрепленные формулами, таблицами и графиками, позволяющие разработчикам и администраторам баз данных повысить производительность своих систем.

Ключевые слова: SQL, EXPLAIN, JOIN, оптимизация запросов, фильтрация, оптимизация, анализ планов, время отклика.

METHODS FOR OPTIMIZING SQL QUERIES IN HIGH-LOAD APPLICATIONS: PRACTICAL RECOMMENDATIONS

R.A. Krasikov¹, O.A. Avilova¹, S.V. Netesova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: This article explores key methods for enhancing the efficiency of SQL query execution under high-load conditions on database systems. Particular emphasis is placed on analyzing query execution plans using the EXPLAIN tool, optimizing JOIN operations and filtering, as well as applying best practices and strategies to reduce response times. Practical recommendations are provided, supported by formulas, tables, and charts, enabling database developers and administrators to improve system performance.

Keywords: SQL, EXPLAIN, JOIN, query optimization, filtering, performance tuning, execution plan analysis, response time.

Введение

Высоконагруженные информационные системы требуют постоянного анализа и оптимизации SQL-запросов для обеспечения стабильной и быстрой работы. Неправильно сформулированные или неэффективные запросы могут стать проблемным местом, приводящим к значительным задержкам и снижению пропускной способности системы. В современном мире, где требования к скорости обработки данных становятся всё выше, правильное использование инструментов анализа и оптимизации запросов приобретает первостепенное значение.

Основная часть

Для достижения поставленных целей использовались следующие методы:

- Анализ планов выполнения запросов с помощью оператора EXPLAIN и EXPLAIN ANALYZE [1].
- Проведение серии тестов с реальными SQL-запросами в условиях моделируемой высокой нагрузки.
- Исследование влияния различных типов соединений (INNER, LEFT, RIGHT, FULL OUTER JOIN) и условий фильтрации на время выполнения [2].
- Визуализация данных с помощью графиков и таблиц для оценки эффективности методов.
- Использование формул для оценки затрат и времени выполнения.

Пример модели оценки времени выполнения запроса – формула 1:

$$T_{\text{итог}} = \sum T_{\text{операции}i} \quad (1)$$

где $T_{\text{операции}i}$ – время выполнения отдельной операции (сканирование, соединение, фильтр). Эта модель помогает предсказывать влияние различных методов и структур данных [3]. Рассмотрим результаты они представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты реализации методов оптимизации

Метод	Время выполнения (мс)	Комментарии
Отсутствие индексов	1500	Полное сканирование таблиц
Использование индексов по WHERE	350	Быстрый доступ к нужным строкам
Оптимизация JOIN с помощью индексов	400	Значительное снижение времени при объединении таблиц

Продолжение таблицы 1.

Переписывание запросов (использование CTE)	330	Улучшение читаемости и планирования запросов
Параллельное выполнение запросов	250	Ускорение обработки при больших объемах данных

Построим диаграмму времени выполнения запросов в зависимости от стратегий (рисунок 1).

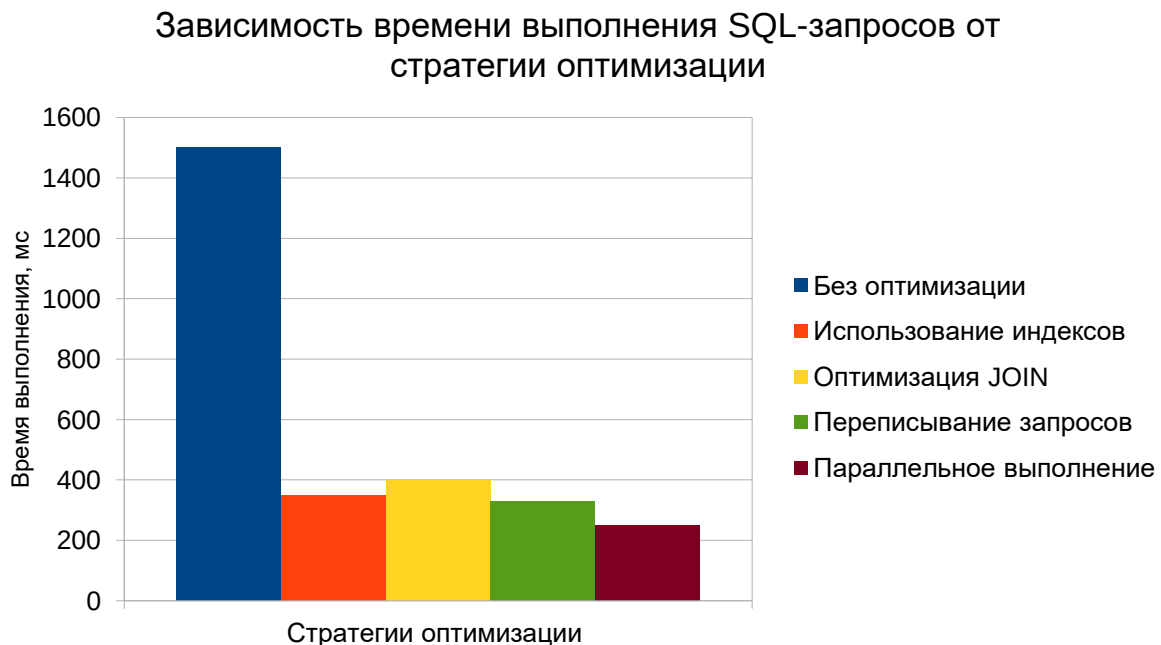


Рисунок 1 - Диаграмма стратегий запросов

Эти данные показывают, что правильные меры оптимизации позволяют сократить время обработки запросов в несколько раз.

Обсуждение

Использование планов выполнения (EXPLAIN) – основной инструмент для анализа проблемных мест. Например, наличие полного сканирования таблицы (Seq Scan) при отсутствии индексных структур [1] говорит о необходимости создания или изменения индексов на столбцах, входящих в условия WHERE или JOIN.

Оптимизация соединений включает:

- использование индексов на связанных столбцах;
- замену сложных вложенных запросов на более эффективные конструкции;

- применение параллельных режимов обработки, где это возможно [3].

Практическая рекомендация – всегда анализировать план выполнения запроса, вносить изменения и повторно проверять эффективность.

Заключение

Обеспечение высокой скорости работы SQL-запросов при большой нагрузке – результат системного подхода: состоящего из правильного проектирования баз данных, использования индексов, изменение запросов и настройки параметров сервера [2, 3]. Методы анализа планов выполнения и внедрение JOIN запросов и фильтрации позволяют эффективно управлять нагрузкой и уменьшать время отклика, что особенно важно для высоконагруженных систем.

Для повышения эффективности рекомендуется:

- использовать EXPLAIN ANALYZE при профилировании [1];
- создавать индексы по наиболее часто используемым столбцам;
- переписывать запросы в более оптимальные формы [2];
- применять параллельное выполнение для больших объемов данных [3].

Дальнейшие исследования могут включать автоматизацию анализа планов и внедрение машинного обучения для предсказания узких мест и выбора оптимальных стратегий.

Список литературы

1. Оптимизация SQL-запросов: как ускорить работу с базами данных. Кутняя Н.С., Дудоров В.Б. В сборнике: Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности. материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 35-летию МЧС России и 95-летию Оренбургского ГАУ. Оренбург, 2025. С. 280-283.

2. База данных безопасности. Полтавцева М.А. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность» по программной подготовке бакалавров, магистров, специалистов / Санкт-Петербург, 2023.

3. Методы оптимизации SQL-запросов в высоконагруженных приложениях // Dev-notes.ru. – 2024. – 28 февр. – URL: <https://www.dev-notes.ru/articles/database/techniques-for-optimizing-sql-queries-in-a-high-traffic-application/> (дата обращения: 25.01.2026).

4. Оптимизация SQL-запросов // Habr.com. – 2025. – 2 янв. – URL: <https://habr.com/ru/articles/861604/> (дата обращения: 25.01.2026).

References

1. SQL Query Optimization: How to Speed Up Database Work. Kutnyaya N.S., Dudorov V.B. In the collection: Current Issues of Ensuring Integrated Security. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to the 35th Anniversary of the Russian Ministry of Emergency Situations and the 95th Anniversary of the Orenburg State Agrarian University. Orenburg, 2025. pp. 280-283.
2. Security Database. Poltavtseva M.A. A textbook for students of higher education institutions studying in UGSN 10.00.00 "Information Security" for software training of bachelors, masters, and specialists / St. Petersburg, 2023.
3. Methods for Optimizing SQL Queries in Highly Loaded Applications // Dev-notes.ru. - 2024. - Feb 28. – URL: <https://www.dev-notes.ru/articles/database/techniques-for-optimizing-sql-queries-in-a-high-traffic-application/> (accessed: 25.01.2026).
4. Optimizing SQL Queries // Habr.com. – 2025. – URL: <https://habr.com/ru/articles/861604/> (accessed: 25.01.2026).

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАПРОСОВ К БАЗАМ ДАННЫХ

Р.А. Красиков¹, О.А. Авилова¹, Р.В. Самушенок¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Из-за огромного количества информации, все более актуальным становится вопрос оптимизации запросов к БД. В данной обзорной статье, будут рассмотрены некоторые научные исследования по оптимизации SQL-запросов, оптимизации работы БД для PostgreSQL, а также техника поисковой оптимизации в БД Oracle.

Ключевые слова: базы данных Oracle, SQL-запросы, оптимизация, производительность базы данных, анализ запросов к БД.

CONTEMPORARY ISSUES IN DATABASE QUERY OPTIMIZATION

R.A. Krasikov¹, O.A. Avilova¹, R.V. Samushonok¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Annotation. Due to the vast amount of information, the issue of optimizing database queries is becoming increasingly relevant. This review article will examine some scientific studies on SQL query optimization, optimization of database performance for PostgreSQL, as well as search optimization techniques in Oracle databases.

Keywords: Oracle databases, SQL queries, optimization, database performance, query analysis.

Введение

Количество информации, растет огромными шагами ежедневно. Для ее хранения используют огромное количество баз данных, на различном оборудовании. Работа с таким объемом информации становится все сложнее. Актуальной становится проблема оптимизации запросов к базам данных.

В наше время из-за огромного количества информации, с острой проблемой оптимизации запросов к БД, сталкиваются многие – компании, частные лица. Вопрос оптимизации запросов к базам данных, остается актуальным для исследователей. Так в статье Барахнина В.Б., Кожемякиной О.Ю., Борзиловой Ю.С. Оптимизация SQL-запросов на примере работы поискового модуля системы комплексного анализа художественных текстов // Cloud of Science. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 749-763., авторы исследуют методы улучшения SQL-запросов, которые используются в поисковых запросах для анализа художественных текстов, для обеспечения более эффективного и быстрого извлечения информации из БД. В ходе исследования, авторы применяют различные методы для оптимизации, такие как реорганизация логики запросов, использование индексов, анализ структуры запросов. Также авторы проводят обзоры экспериментальных исследований в данной области:

Таблица 1. Сводная информация по рассмотренным системам

Название системы	Многоуровневый анализ художественных текстов	Пользовательский интерфейс	Агрегация результатов	Поиск по характеристикам
Aoidos	+	-	-	-
Metricalizer	+	+	+	-
SPARSAR	+	+	+	+
«Вавилонская башня»	+	+	+	+
Ресурс wikipoetics.ru	+	+	-	-

Авторами проводится анализ разрабатываемой информационной системы, для комплексного анализа художественных текстов.

Авторы провели эксперимент, по добавлению разных индексов к полям с различными типами данных. Результат показал, что добавление индексов к полям определённых типов, ускоряет в два раза, время на обработку запросов. В результате, авторы предоставили рекомендации по внедрению индексов к полям с различными типами данных.

Рисунок 1 – Интерфейс модуля поиска в информационной системе

Авторы статьи Сафин П.Р., Вершинин Е.В. Обзор методов оптимизации базы данных в СУБД PostgreSQL // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2023. – № 3 (43). – С. 17-22., анализируют, какие ошибки допускают современные компании, при работе с базами данных, и предоставляют рекомендации по оптимизации при работе с ними. Исследование проводилось в СУБД PostgreSQL четырьмя методами: индексация базы данных, оптимизация запросов, создание Materialized View и нормализация таблиц. Эксперименты проводились над двумя базами данных, подкрепляя проверку статистическими данными. Результаты показали, что при различных методах наблюдаются улучшения:

Индексация.

Результат запроса:

Execution Time: 19694.826 ms

До индексации: 92386.265 ms.

После индексации: 19694.826 ms.

В результате достигнуто пятикратное улучшение производительности.

Оптимизация запросов.

Результат запроса:

Execution Time: 15765.865 ms

До оптимизации запроса: 36878.353 ms.

После оптимизации запроса: 15765.865 ms.

Повышение производительности в 2,34 раза.

Materialized View.

Результат запроса:

Execution Time: 0.028 ms

Запрос с таблицы: 15765.865 ms.

Запрос с материализованного представления: 0.028 ms.

В результате получаем прирост производительности в 563 066 раз.

Нормализация таблиц.

Результат запроса:

Execution Time: 10648.527 ms

До нормализации: 15964.366 ms.

После нормализации: 10648.527 ms.

Производительность увеличилось в 1,5 раза.

Результат исследования показал, что применение данных методов ускоряет работу с базами данных в несколько раз, а самым производительным оказался метод Materialized View [4].

Авторы статьи Гладков А.К., Никольская Д.И. Исследование поисковой оптимизации на основе базы данных Oracle // Экономика и качество систем связи. – 2022. – № 4 (26). – С. 67-74., анализируют работу Oracle database широко применяемую в финансовой, административной и других областях из-за ее эффективности и мультиплатформенной архитектуры. Также авторы предлагают методы для оптимизации ускорения работы с Oracle database. В статье делается акцент именно на улучшении сразу и аппаратной структуры и программной структуры. Улучшение аппаратной структуры, дает не высокий рост производительности, тогда как при улучшении программной части, производительность увеличивается в разы.

Поисковая оптимизация.

Авторы приводят результат схемы оптимизации, с использованием данных размером в 1 Тбайт.

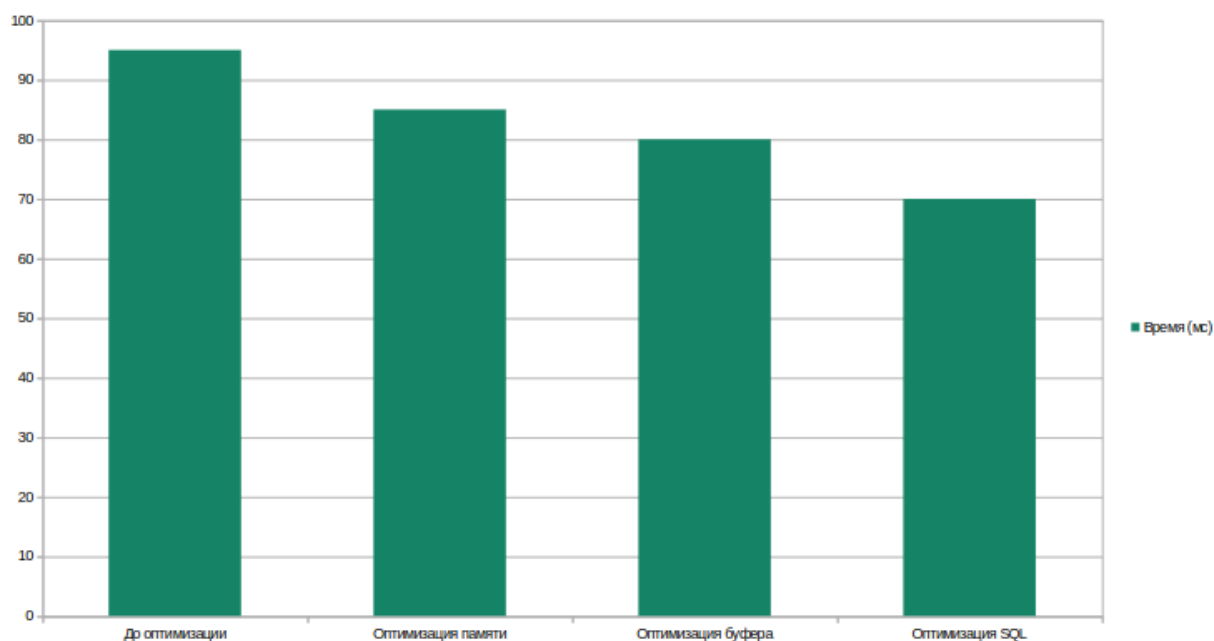


Рисунок 2 – Результат оптимизации

В данном исследовании, авторы применили оптимизацию программного и физического уровней системы Oracle. Делается вывод что значительное увеличение производительности СУБД Oracle, может происходить как за счет структурной аппаратной оптимизации, так и оптимизации инструкций SQL, кэша и памяти.

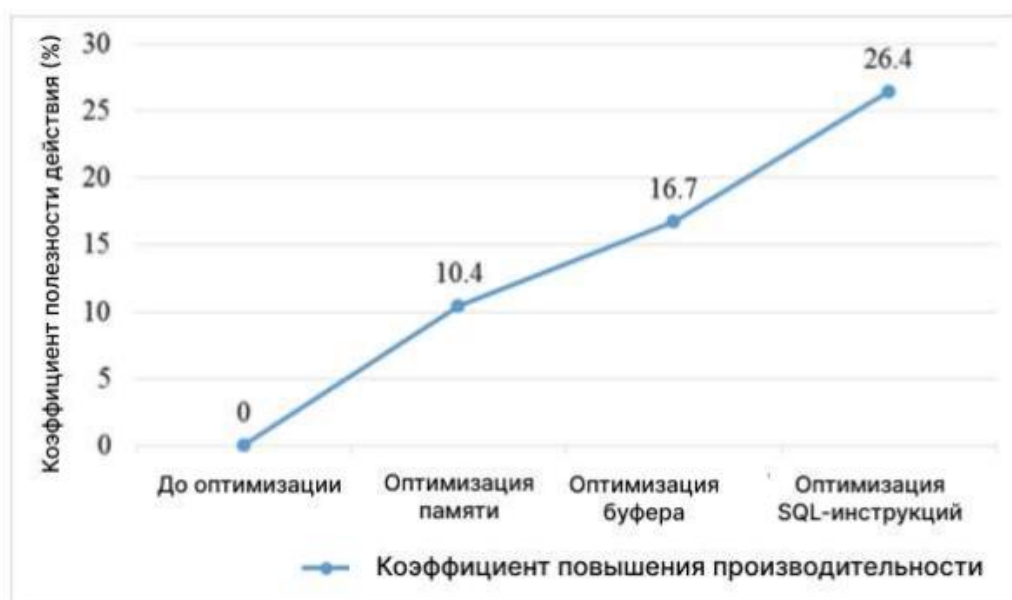


Рисунок 3 – коэффициент повышения производительности базы данных

Заключение

Авторы в своих статьях подчеркивают важность оптимизации SQL-запросов, как критического элемента для повышения производительности информационных систем. Делая выводы по данным работам, можно рекомендовать дальнейшее изучение методов по оптимизации запросов к базам данных, для обеспечения бесперебойной и высокой производительности БД в различных информационных системах.

Список литературы

1. Барахнин В.Б., Кожемякина О.Ю., Борзилова Ю.С. Оптимизация SQL-запросов на примере работы поискового модуля системы комплексного анализа художественных текстов // Cloud of Science. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 749-763.
2. Сафин П.Р., Вершинин Е.В. Обзор методов оптимизации базы данных в СУБД PostgreSQL // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2023. – № 3 (43). – С. 17-22.
3. Гладков А.К., Никольская Д.И. Исследование поисковой оптимизации на основе базы данных Oracle // Экономика и качество систем связи. – 2022. – № 4 (26). – С. 67-74.
4. Новикова, Т. П. Математическая модель интермодальных грузовых перевозок / Т. П. Новикова, С. А. Евдокимова, А. И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 62-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70. – EDN ERRGGK.

References

1. Barakhnin V.B., Kozhemyakina O.Yu., Borzilova Yu.S. Optimization of SQL Queries Based on the Work of the Search Module in the System of Comprehensive Analysis of Artistic Texts // Cloud of Science. – 2020. – Vol. 7, No. 4. – Pp. 749-763.
2. Safin P.R., Vershinin E.V. Review of Database Optimization Methods in PostgreSQL DBMS // Electronic Journal: Science, Technology and Education. – 2023. – No. 3 (43). – Pp. 17-22.
3. Gladkov A.K., Nikolskaya D.I. Research on Search Optimization Based on Oracle Database // Economics and Quality of Communication Systems. – 2022. – No. 4 (26). – Pp. 67-74.
4. Novikova T.P., Evdokimova S.A., Novikov A.I. Mathematical Model of Intermodal Freight Transportation // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 62–70. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-62-70.

АРХИТЕКТУРА И ПРОТОТИП «LOW-CODE» КОНСТРУКТОРА ПРАВИЛ ЭСКАЛАЦИИ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ СОГЛАСОВАНИЯ

Д.С. Кукуева¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема непредсказуемости и потери контроля в процессах согласования документов, связанная с отсутствием системного механизма реагирования на задержки. Ручные напоминания и звонки не только неэффективны, но и не фиксируются в системе, что искажает метрики и скрывает реальные причины простоев. В качестве решения предлагается архитектура и прототип low-code (низко-кодového) конструктора правил эскалации, интегрированного в платформу автоматизации бизнес-процессов. Конструктор позволяет бизнес-аналитику через визуальный интерфейс гибко настраивать многоуровневые сценарии автоматических действий в ответ на превышение сроков: от уведомлений до переназначения задач и оповещения руководства. Правила могут быть дифференцированы по типам документов, отделам и приоритетам. Результатом внедрения является автоматизация управляющих воздействий, гарантирующая движение процесса, и формирование полной объективной метрики, включающей анализ срабатывания эскалаций. Инструмент трансформирует систему из пассивного маршрутизатора в активный контроллер, обеспечивающий соблюдение сроков и повышающего общую управляемость и прозрачность процессов.

Ключевые слова: эскалация, low-code конструктор, согласование документов, автоматизация контроля, таймер, уведомления, переназначение задач, bpm-система, метрики, черная дыра.

ARCHITECTURE AND PROTOTYPE OF THE "LOW-CODE" ESCALATION RULE CONSTRUCTOR FOR RECONCILIATION PROCESSES

D.S. Kukueva¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the problem of unpredictability and loss of control in the processes of document approval, due to the lack of a system mechanism for responding to delays. Manual reminders and calls are not only ineffective, but they are also not recorded in the system, which distorts metrics and hides the real reasons for downtime. The architecture and prototype of a low-code escalation rule constructor integrated into the business process automation platform are proposed as a solution. The constructor allows a business analyst to flexibly configure multi-level scenarios of automatic actions in response to deadlines through a visual interface: from notifications to reassigning tasks and notifying management. The rules can be differentiated by document types, departments, and priorities. The result of the implementation is the automation of control actions, which guarantees the movement of the process, and the formation of a complete objective metric, including an analysis of the triggering of escalations. The tool transforms the system from a passive router into an active controller that ensures compliance with deadlines and increases overall manageability and transparency of processes.

Keywords: escalation, low-code constructor, document approval, control automation, timer, notifications, task reassignment, bpm system, metrics, black hole.

В автоматизированной системе согласования документов критически важный участок работы часто остается за пределами цифрового контроля: это этап, когда документ уже находится у исполнителя, но никаких действий с ним не происходит. Он «висит» во входящих, становясь невидимой «черной дырой» для процесса. Традиционный ответ на эту проблему - ручные звонки, сообщения в мессенджерах, личные напоминания - не только отнимает время у координаторов, но и обладает фундаментальными недостатками. Он не масштабируется, его эффективность зависит от человеческого фактора, а главное - все эти действия остаются «в тени», никак не упитываясь в системных метриках и отчетах. В результате руководство видит лишь общее время согласования, но не понимает, сколько из него составило фактическое выполнение задачи, а сколько - многодневное ожидание, и какие именно этапы являются хроническими точками застоя.

Решением является превращение системы из пассивного маршрутизатора задач в активного участника, обладающего инструментами для принудительного соблюдения временных рамок. Ключевым компонентом для этого становится «low-code» конструктор правил эскалации. Его цель - позволить бизнес-аналитику или владельцу процесса, не прибегая к программированию, проектировать сложные, многоуровневые сценарии автоматического реагирования на простые задачи.

Суть решения: визуальное проектирование управляющих воздействий. Конструктор представляет собой интуитивный графический интерфейс, где ана-

литик может описать цепочку условий и действий, связанных с временными порогами. Логика описывается в терминах бизнеса: «Если задача на этапе «Согласование отделом закупок» не выполнена в течение N часов, выполнить действие Y».

Например, для критичного договора может быть настроено следующее правило:

Через 24 часа после назначения задачи: автоматически отправить вежливое напоминание согласующему в рабочую почту и корпоративный мессенджер.

Через 48 часов: изменить приоритет задачи на «Высокий», отправить повторное уведомление и автоматически уведомить инициатора документа о задержке.

Через 72 часа: переназначить задачу автоматически на заместителя руководителя данного отдела, одновременно направив служебную записку непосредственному руководителю первоначального исполнителя.

Через 120 часов: создать инцидент и уведомить вышестоящее руководство (директора по направлению), отправив полный отчет по просрочке.

Эта многоступенчатая логика настраивается путем перетаскивания блоков «Условие», «Таймер», «Действие». Гибкость обеспечивается за счет привязки правил к атрибутам процесса: тип документа, ценовой порог, подразделение исполнителя, бизнес-приоритет. Таким образом, для простого внутреннего отчета может быть настроено одно напоминание за 12 часов, а для многомиллионного контракта - жесткий многоуровневый сценарий с немедленным оповещением топ-менеджмента.

Архитектура прототипа: ядро, движок правил и исполнители
Архитектура такого конструктора предполагает несколько ключевых модулей.

1. Визуальный конструктор (Frontend): Low-code среда для проектирования. Пользователь работает с графическими элементами, представляющими триггеры (таймер, изменение статуса), условия (проверка данных документа, роли) и действия (уведомление, переназначение, вызов внешней процедуры). Результатом работы является машиночитаемая модель правила в формате JSON или DSL.

2. Движок правил (Rule Engine): Серверный компонент, отвечающий за исполнение. Он загружает скомпилированные модели правил, подписывается на события от ядра BPM-системы (например, «задача создана», «задача всё ещё ак-

тивна»), отслеживает таймеры для каждого экземпляра задачи и в нужный момент инициирует выполнение предписанных действий. Его ключевая задача - эффективное управление тысячами параллельных таймеров и контекстов.

3. Модуль действий (Action Executor): Набор адаптеров, которые выполняют конкретные операции, предписанные правилом: интеграция с сервисом email, мессенджером, вызов API системы для переназначения задачи, создание новых задач или инцидентов в ITSM-системе.

4. Журнал эскалаций (Escalation Log): Централизованное хранилище всех фактов срабатывания правил. Каждое событие - «отправлено уведомление», «задача переназначена» - фиксируется с привязкой к экземпляру процесса. Это создает новое, ценнейшее измерение для аналитики.

Результат: автоматизированный контроль и полная метрика. Внедрение такого конструктора дает двусторонний результат. С точки зрения операционного контроля, система гарантирует, что ни одна задача не будет забыта. Автоматические управляющие воздействия минимизируют человеческий фактор и обеспечивают движение процесса даже в нештатных ситуациях (болезнь, отпуск, высокая загрузка сотрудника).

С точки зрения аналитики и управления, формируется полная и объективная картина. Метрики теперь включают не только «время выполнения этапа», но и «количество срабатываний эскалации 1-го уровня», «частота переназначений по отделам», «среднее время от срабатывания таймера до завершения этапа после уведомления». Это позволяет не просто констатировать факт задержки, а анализировать эффективность самих механизмов эскалации и точно измерять «цену» просрочки в виде вовлечения все более высоких уровней управления.

Low-code конструктор правил эскалации представляет собой следующий логический шаг в эволюции систем автоматизации согласования - от автоматизации потока к автоматизации контроля. Он закрывает ключевой пробел в управлении процессами, превращая систему из пассивного инструмента, фиксирующего события постфактум, в активного агента, обеспечивающего соблюдение регламента в реальном времени. Инструмент напрямую повышает дисциплину, прозрачность и предсказуемость бизнес-процессов, закладывая основу для truly управляемого и data-driven документооборота. Аналитик, вооруженный таким конструктором, получает возможность проектировать не только маршрут движения документа, но и систему его гарантированной доставки, что является краеугольным камнем надежной и зрелой процессной архитектуры.

Список литературы

1. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.
2. Федоров, В. О. Использование NO/LOW-CODE сервисов для тестирования продуктовых гипотез / В. О. Федоров, М. С. Шилкина // Оригинальные исследования. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 70-76. – EDN JBMEWE.
3. Kramarev, E. G. Adopting low-code solutions for client risk-metric assessment in financial organisations / E. G. Kramarev // XXXVIII Международные Плехановские чтения : Сборник статей аспирантов и молодых ученых на английском языке, Москва, 24 марта 2025 года. – Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2025. – Р. 128-133. – EDN AFKSPQ.
4. Леонов, М. А. Рынок no-code/low-code: анализ, тренды, платформы / М. А. Леонов // Вестник экономического научного общества студентов и аспирантов : Межвузовский студенческий научный журнал, Санкт-Петербург, 12–13 декабря 2024 года. – Санкт-Петербург: Международный банковский институт имени Анатолия Собчака, 2025. – С. 580-587. – EDN UNEYEM.
5. Формирование ИКТ-компетентности студентов специальности «Информатика» / А. В. Полуэктов // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2009. – № 3 (3). – С. 8–11. – EDN SAXGJX.
6. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора / А. И. Заревич, Е. В. Вегнер, И. И. Винтизенко // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78–82.
7. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса осязательства / Ф. В. Макаренко, В. К. Зольников, А. И. Заревич [и др.] // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318–330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACQAI.

References

1. Yurchishina, M. V. Algorithmic model of the DSS "Optimal curriculum" / M. V. Yurchishina, K. I. Bushmeleva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.

2. Fedorov, V. O. The use of NO/LOW-CODE services for testing product hypotheses / V. O. Fedorov, M. S. Shilkina // Original research. – 2022. – Vol. 12, No. 3. – PP. 70-76. – EDN JBMEWE.
3. Kramarev, E. G. Adopting low-code solutions for client risk-metric assessment in financial organizations / E. G. Kramarev // XXXVIII International Plekhanov Readings : A collection of articles by graduate students and young scientists in English, Moscow, March 24, 2025. – Moscow: Plekhanov Russian University of Economics, 2025. – P. 128-133. – EDN AFKSPO.
4. Leonov, M. A. The no-code/low-code market: analysis, trends, platforms / M. A. Leonov // Bulletin of the Economic Scientific Society of Students and Postgraduates : Interuniversity Student Scientific Journal, St. Petersburg, December 12-13, 2024. – St. Petersburg: Anatoly Sobchak International Banking Institute, 2025. – pp. 580-587. – EDN UNEYEM.
5. Formation of ICT competence of students of the specialty "Informatics" / A.V. Poluektov // Information and communication technologies in teacher education. – 2009. – № 3 (3). – Pp. 8-11. – EDN SAXGJX.
6. Automated complex for diagnostics of pulses of a relativistic microwave generator / A. I. Zarevich, E. V. Wegner, I. I. Vintizenko // Instruments and techniques of experiment. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
7. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the process of sensitization / F. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

DSL-ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ВАЛИДАЦИИ МАРШРУТОВ СОГЛАСОВАНИЯ ДОКУМЕНТОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ

Д.С. Кукуева¹, А.М. Тюнина¹, В.В. Кондусова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена решению ключевой проблемы систем автоматизации согласования документов - их ригидности и зависимости от разработчиков при любых изменениях. В качестве методологической основы предлагается двухуровневый подход, сочетающий аналитическую мощь Process Mining для диагностики «узких мест» и гибкость предметно-ориентированного языка (DSL) для оперативного перепроектирования маршрутов. Рассматривается, как на основе объективных данных, извлеченных из журналов событий, можно формализовать бизнес-правила в виде исполняемых DSL-конструкций. Особое внимание уделяется встроенному механизму валидации, позволяющему бизнес-аналитику проверять логическую целостность и корректность маршрута на этапе проектирования. Представленный подход трансформирует систему в динамически настраиваемый «конструктор процессов», что существенно сокращает время на внедрение изменений и повышает общую управляемость и эффективность корпоративного документооборота

Ключевые слова: BPM, ECM, маршрутизация документов, DSL, бизнес-процессы, гибкость, валидация, согласование, бизнес-аналитик, адаптивность

DSL APPROACH TO THE DESIGN AND VALIDATION OF DOCUMENT APPROVAL ROUTES IN A DISTRIBUTED SYSTEM

D.S. Kukueva¹, A.M. Tyunina¹, V.V. Kondusova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to solving the key problem of document approval automation systems - their rigidity and dependence on developers for any changes. A two-level approach is proposed as a methodological basis, combining the analytical power of Process Mining to diagnose bottlenecks and the flexibility of a domain-specific language (DSL) for operational redesign of routes. It is considered how, based on objective data extracted from event logs, business rules can be formalized

in the form of executable DSL constructs. Special attention is paid to the built-in validation mechanism, which allows the business analyst to verify the logical integrity and correctness of the route at the design stage. The presented approach transforms the system into a dynamically configurable "process designer", which significantly reduces the time needed to implement changes and increases the overall manageability and efficiency of corporate document management.

Keywords: BPM, ECM, document routing, DSL, business processes, flexibility, validation, approval, business analyst, adaptability

Современная распределенная система управления бизнес-процессами (BPM/ECM) сталкивается с фундаментальным противоречием. С одной стороны, она призвана обеспечить строгость, предсказуемость и аудируемость процессов согласования документов. С другой - бизнес-среда требует скорости, гибкости и способности мгновенно реагировать на новые вызовы: изменение регуляторных норм, реорганизацию, появление новых типов контрактов или продуктов. Традиционная парадигма, при которой логика маршрутизации «зашивается» в код приложения или в жесткие, трудоемкие для редактирования конфигурации workflow, создает серьезное системное ограничение. Каждая модификация процесса - будь то добавление новой контрольной точки, изменение пороговой суммы для визирования финансовым директором или делегирование полномочий - превращается в проект с участием IT-специалистов. Это влечет за собой длительный цикл: постановка задачи разработчику, внесение изменений, тестирование, развертывание на продуктивной среде. В результате бизнес-пользователи либо мирятся с несовершенством и неоптимальностью текущего процесса, либо создают параллельные, неформальные («теневые») схемы согласования, что сводит на нет саму идею прозрачной автоматизации.[1]

Внедрение систем электронного документооборота и бизнес-процессов (BPM) часто сталкивается с парадоксом: автоматизированный процесс, призванный повысить эффективность, со временем сам становится источником ригидности и медленной реакции на изменения. Особенно остро это проявляется в проектировании маршрутов согласования документов. Классический подход предполагает «жесткую» прописку логики маршрутизации в коде системы или в сложных для редактирования конфигурациях. Любое изменение бизнес-правила - добавление нового типа документа, изменение пороговых сумм, введение дополнительного согласующего - требует привлечения программиста, тестирования и повторного развертывания. Это создает длительный цикл обратной связи, не отвечающий динамике современных бизнес-требований.[2]

Решение этой проблемы лежит в плоскости переноса ответственности за проектирование процессов с разработчика на бизнес-аналитика или владельца процесса. Инструментом для такого переноса служит Предметно-Ориентированный Язык (Domain-Specific Language, DSL). В контексте маршрутизации документов DSL - это специализированный язык, понятный и бизнес-пользователю, и машине. Его синтаксис оперирует сущностями предметной области: типами документов, суммами, организационными ролями, условиями и операторами (последовательное 'SEQUENTIAL' или параллельное 'PARALLEL' согласование).[3]

Процесс описания маршрута превращается в декларативное задание правил. Например, сложное правило: *«Договор на сумму свыше 100 000 рублей должен быть согласован финансовым директором и юридическим отделом параллельно, а затем - генеральным директором; если же сумма меньше, достаточно согласования только руководителем подразделения»* - может быть выражено на DSL следующим образом:

```
ROUTE для "Договор":
  IF sum >= 100000 THEN
    SEND PARALLEL TO [ФинансовыйДиректор, ЮрОтдел]
    SEND TO ГенеральныйДиректор
  ELSE
    SEND TO РуководительПодразделения
```

Такой код интуитивно понятен бизнес-аналитику. Он не требует знания языков программирования, но при этом является формально строгим и исполняемым.

Однако простота описания - только одна сторона медали. Вторая, критически важная, - это валидация на этапе проектирования. «Жесткий» код может содержать скрытые ошибки, которые проявляются только в runtime. DSL-компилятор или интерпретатор решает эту проблему, выполняя статический анализ модели процесса еще до ее запуска в продуктивной среде. Он проверяет:

Корректность ссылок: Существуют ли в системе указанные роли или группы исполнителей.

Достижимость и полноту: Нет ли в маршруте тупиковых («мертвых») веток, гарантированно ли документ достигнет конечного статуса при любом сценарии.

Отсутствие конфликтов: Не определены ли противоречащие друг другу правила для одних и тех же условий.

Синтаксическую корректность: Соответствие описания правилам грамматики DSL.

Таким образом, бизнес-аналитик получает немедленную обратную связь: система в режиме проектирования указывает на ошибки, например, «Роль "Бухгалтер_Старый" не найдена» или «Ветка, заданная правилом IF type="Акт" AND sum>0, не содержит инструкций SEND». Это предотвращает развертывание заведомо дефектных процессов.[4]

Результатом внедрения DSL-подхода является кардинальное изменение жизненного цикла процесса согласования. Бизнес-аналитик получает возможность самостоятельно, быстро и безопасно:

1. Проектировать сложные, ветвящиеся маршруты.
2. Тестировать их на корректность с помощью встроенных средств валидации.
3. Развертывать новые и измененные маршруты, не прибегая к услугам отдела разработки.

Это превращает систему автоматизации из монолита с «защитой» логикой в гибкий конструктор процессов.

Ядро системы остается стабильным и отвечает за исполнение, в то время как логика маршрутизации, описанная на DSL, становится изменяемым активом бизнеса. Такой подход формирует основу для истинно адаптивной архитектуры, способной мгновенно реагировать на changing business needs, будь то реорганизация, появление нового продукта или изменение регуляторных требований, обеспечивая организации стратегическое преимущество в скорости и гибкости.

Таким образом, DSL-подход является не просто техническим решением, а краеугольным камнем гибкой, адаптивной архитектуры корпоративных систем. Он демократизирует управление процессами, перенося центр компетенции и контроля в бизнес-подразделения, и обеспечивает организации стратегическую способность к быстрой эволюции в условиях постоянных изменений.

Список литературы

1. Дмитриев, Е. А. Математическое моделирование и реализация информационно-расчетных задач «маскировка» / Е. А. Дмитриев, А. Ф. Тараканов, Е. А. Шипилова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 32-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-32-42. – EDN DJJKYT.
2. Федоренков, В. Г. Использование предметно-ориентированных языков (DSL) при тестировании веб-интерфейсов / В. Г. Федоренков, П. В. Балакшин

// Сборник трудов VII Конгресса молодых ученых, Санкт-Петербург, 17–20 апреля 2018 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2018. – С. 223-227. – EDN PQVRZB.

3. Шчепанович, В. Повышение пропускной способности многопарных кабелей в сетях DSL-доступа / В. Шчепанович // Электросвязь. – 2009. – № 8. – С. 41-44. – EDN KXORZZ.

4. Кирсанова, А. А. Возможности использования онтологии предметной области для определения семантической модели DSL / А. А. Кирсанова, А. Е. Беляков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 154-159. – DOI 10.14529/ctcr160218. – EDN VVECJH.

References

1. Dmitriev, E. A. Mathematical modeling and implementation of information and computational tasks "masking" / E. A. Dmitriev, A. F. Tarakanov, E. A. Shipilova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 32-42. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-32-42. – EDN DJJKYT.

2. Fedorenkov, V. G. The use of domain-specific languages (DSL) when testing web interfaces / V. G. Fedorenkov, P. V. Balakshin // Proceedings of the VII Congress of Young Scientists, St. Petersburg, April 17-20, 2018. Volume 1. Saint Petersburg: Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2018. pp. 223-227. EDN PQVRZB.

3. Shchepanovich, V. Increasing the throughput of multi-pair cables in DSL access networks / V. Shchepanovich // Telecommunications. – 2009. – No. 8. – pp. 41-44. – EDN KXORZZ.

4. Kirsanova, A. A. Possibilities of using domain ontology to define the semantic DSL model / A. A. Kirsanova, A. E. Belyakov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technology, control, radio electronics. – 2016. – Vol. 16, No. 2. – pp. 154-159. – DOI 10.14529/ctcr160218. – EDN VVECJH.

IN SILICO МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ: ОТ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДО ПРОМЫШЛЕННЫХ БИОПРОЦЕССОВ

А.С. Курьянов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье анализируется методология in silico моделирования: от молекулярных взаимодействий до промышленных биопроцессов. Рассмотрены классификация методов (квантовая химия, молекулярная динамика, QM/MM), проблемы верификации и валидации моделей, а также перспективные направления развития технологий.

Ключевые слова: in silico, компьютерное моделирование, молекулярная динамика, квантовая химия, QM/MM, валидация, цифровые двойники, биопроцессинг, системная биология.

IN SILICO MODELING OF SYSTEMS: FROM MOLECULAR INTERACTIONS TO INDUSTRIAL BIOPROCESSES

A.S. Kyryanov

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyzes the methodology of in silico modeling: from molecular interactions to industrial bioprocesses. The classification of methods (quantum chemistry, molecular dynamics, QM/MM), problems of model verification and validation, as well as promising directions of technology development are considered.

Keywords: in silico, computer modeling, molecular dynamics, quantum chemistry, QM/MM, validation, digital twins, bioprocessing, systems biology.

Введение

Два десятилетия назад выражение «компьютерный эксперимент» воспринималось скорее, как образная метафора, нежели как обозначение полноценного инженерного инструмента. Вычислительные мощности были ограничены, программное обеспечение фрагментарно, а сама идея замены натурного испытания

цифровой симуляцией встречала скептицизм в научно-техническом сообществе [5]. Сегодня ситуация принципиально иная: моделирование в цифровой среде стало стандартной, повсеместно воспроизводимой производственной практикой, интегрированной в инженерные регламенты и процессы разработки [2]. Возможность воспроизводить поведение сложных систем без изготовления дорогостоящего физического прототипа превратилась из академического курьеза в обязательный, нормативно закреплённый элемент многих отраслей промышленности [3].

Термин *in silico*, сконструированный по аналогии с устоявшимися понятиями *in vivo* и *in vitro*, содержит прямую отсылку к кремнию – базовому элементу полупроводниковой индустрии. Его смысловое наполнение оказалось значительно шире простого обозначения места проведения расчётов. Сегодня *in silico* – это целостная, институционально признанная методология виртуального тестирования и проектирования, позволяющая получать результаты, по доказательной силе сопоставимые с натурными экспериментами, но достигаемые на несколько порядков быстрее и с несопоставимо меньшими финансовыми издержками [5, 8].

Особую актуальность методология приобретает в контексте глобальных трендов на снижение использования животных моделей в биомедицинских исследованиях. Принятие законодательных актов, таких как FDA Modernization Act 2.0, стимулирует развитие альтернативных подходов к доклиническим испытаниям, где *in silico* модели играют ключевую роль [3, 8]. Согласно систематическому обзору Mittal с соавторами, вычислительные модели демонстрируют способность восполнять критические пробелы в прогностической точности и трансляционной релевантности традиционных подходов, поддерживая конвейеры разработки лекарств и сокращая поздние отказы [8].

Методологический базис и классификация подходов *in silico*

Фундамент современного *in silico* моделирования был заложен нобелевскими лауреатами по химии 2013 года Мартином Карплюсом, Майклом Левиттом и Арье Варшелем, которые впервые совместили классический и квантово-механический подходы для расчета сложных химических систем [5]. Разработанный ими комбинированный подход позволил описывать центральную часть системы квантово-химическими методами, а остальную – с помощью классических законов, причем оба описания оказались физически связаны.

Методологическое пространство *in silico* моделирования структурируется по двум ключевым измерениям: способ описания потенциала взаимодействия и способ описания движения ядер. Первая развилка определяет, как рассчитывается взаимодействие между атомами: честное решение квантовой электронной задачи (квантовый потенциал) либо использование классических силовых полей, где атомы взаимодействуют как массы на пружинках. Вторая развилка касается описания движения ядер – как классических объектов (молекулярная динамика) либо как квантовых [5].

На пересечении этих измерений формируются четыре основных подхода:

- Классическая молекулярная динамика – классические ядра с классическим потенциалом
- Квантовая динамика в классическом потенциале – квантовые ядра с классическим потенциалом
- Полуклассическая молекулярная динамика – классические ядра с квантовым потенциалом
- Неэмпирическая квантовая динамика – квантовые ядра с квантовым потенциалом

Особое практическое значение приобрели гибридные методы QM/MM (квантовая механика/молекулярная механика), позволяющие моделировать активные центры ферментов с высокой точностью, описывая окружение менее затратными классическими методами [5]. Эта методологическая эклектика, которую некоторые теоретики воспринимают как компромисс, на деле оказалась единственным практически реализуемым путем моделирования сложных биомолекулярных систем.

Таблица 1 – Сравнение методов молекулярного моделирования

Метод	Тип потенциала	Тип ядер	Область применения
Классическая МД	Классический (силовые поля)	Классические	Белки в растворе, липидные бислои
Полуклассическая МД	Квантовый (<i>ab initio</i>)	Классические	Химические реакции в растворах
QM/MM	Гибридный	Классические	Ферментативный катализ
Квантовая динамика	Квантовый	Квантовые	Перенос протона, туннелирование

Архитектуры моделей различного масштаба

Современное *in silico* моделирование охватывает широчайший спектр пространственно-временных масштабов – от атомистических симуляций до моделирования целых производственных установок. Пятый моделинг-воркшоп, проведенный в июне 2023 года в Дании, выделил четыре ключевые категории моделей в биофармацевтической индустрии: биофизическое и молекулярное моделирование, механистическое моделирование, вычислительная гидродинамика (CFD) и моделирование производственных установок [2].

Биофизическое и молекулярное моделирование оперирует на атомном и молекулярном уровнях. Здесь ключевую роль играют методы молекулярного докинга, предсказания структуры белков и моделирования лиганд-рецепторных взаимодействий. Как отмечается в работе [1], для *in silico* конструирования базовых структур, воздействующих на фармакологические мишени сердечно-сосудистой системы, необходимы достоверные математические модели всех элементов системы. В частности, моделирование кровеносного сосуда в динамике требует учета не только давления крови, но и тензора напряжения, что приводит к необходимости использования аппарата дробного исчисления (оператора Капуто-Герасимова) [1].

Механистическое моделирование описывает динамику биологических систем на клеточном и субклеточном уровнях с использованием систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Важным направлением здесь является создание синтетических сигнальных сетей, которые могут служить "ground truth" моделями для тестирования алгоритмов восстановления топологии сетей и оценки параметров. Ху с соавторами разработали метод генерации искусственных сигнальных сетей, которые по топологическим характеристикам (степень реакции, расстояние реакции) и поведенческой динамике сопоставимы с реальными сетями из базы BioModels [4].

Моделирование на уровне процессов и установок включает CFD-модели биореакторов и хроматографических колонн. Согласно материалам 5-го моделинг-воркшопа, значительный прогресс достигнут в моделировании многофазных систем в биореакторах и механистическом моделировании фильтрационных процессов [2].

Исследования на стыке масштабов демонстрируют потенциал комбинирования *in silico* и *in vitro* подходов. Сотрудники ИБХФ РАН совместно с коллегами из Египта и МГУ использовали молекулярное моделирование для предска-

зания биологической активности новых производных карбоплатина и отбора оптимальных соединений для создания полимерных наночастиц еще до начала экспериментов. Полученные наночастицы проявили более высокий уровень цитотоксической активности в отношении клеток немелкоклеточной карциномы легкого по сравнению с неинкапсулированными производными [7].

Валидация, верификация и регуляторное признание

Критическим вопросом применения *in silico* технологий в промышленности и медицине является доказательство достоверности получаемых результатов. Методологический каркас *in silico* имплементирует жесткое разграничение верификации и валидации, однако терминология в этой области остается предметом дискуссий.

Верификация отвечает на вопрос, правильно ли решены уравнения – нет ли ошибок в реализации граничных условий, соблюдаются ли законы сохранения, достигнута ли заявленная точность. Валидация отвечает на иной вопрос: соответствует ли поведение цифровой модели поведению реального объекта в пределах оговоренной погрешности [5].

Систематический обзор применения *in silico* моделирования для разработки абдоминальных и торакальных хирургических устройств показал, что из 42 включенных исследований лишь 19 провели валидацию *in silico* результатов с помощью *in vitro* или *in vivo* данных. Большинство исследований находились на доклинической стадии (IDEAL stage 0), что указывает на необходимость стандартизации методологий через разработку единого набора исходных данных и рамочных требований к достоверности моделей [6].

В биофармацевтической индустрии существенным препятствием для более полной квантификации и калибровки моделей остается отсутствие больших анонимизированных наборов данных. Потенциальным решением является использование специфических дескрипторов в базах данных, позволяющих проводить детальный анализ без раскрытия конфиденциальной информации [2].

Регуляторное признание *in silico* моделей остается одной из наиболее сложных проблем. Несмотря на наличие общих рекомендаций в документах ICH Q8–Q11, отсутствует единая система требований к моделям, которые включаются в регуляторную документацию или служат ее обоснованием [2]. В то же время наблюдается прогресс: в анализ включено одно исследование, посвященное виртуальным клиническим испытаниям на симулированных популяциях пациентов [6].

Специализированные инструменты и их применение

Развитие *in silico* методологии сопровождается созданием специализированных программных инструментов, доступных как в виде десктопных приложений, так и веб-сервисов.

РуМОЛ представляет собой простой инструмент для предсказания молекулярных структур и последовательностей, позволяющий пользователю контролировать отдельные алгоритмы на разных этапах анализа. Сервис обеспечивает выполнение последовательных и пространственных выравниваний, а также реализацию сложных инструментов для предсказания структур целевых белков [10].

В области редактирования геномов разработан подход *in silico* предсказания сайтов связывания искусственных ферментов рестрикции TALEN, основанный на модели экспоненциально взвешенного скользящего среднего. Подход реализован в виде онлайн-сервиса TANDIS с разделением вычислительного процесса на четыре равномоощных потока. Верификация показала, что по качеству предсказания TANDIS сопоставим с аналогом TALENoffer, но значительно превосходит TALE-NT, при этом простота математической модели позволяет существенно ускорить вычисления [9].

Российский онлайн-сервис PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) используется для прогнозирования биологической активности новых химических соединений. В исследовании по созданию наночастиц для терапии онкологических заболеваний именно PASS позволил предсказать активность новых производных карбоплатина еще до их экспериментального получения [7].

Проблемы и решения в современном *in silico* моделировании

Таблица 2 – Проблемы внедрения *in silico* моделей и пути их решения

Проблема	Описание	Предлагаемое решение
Недостаток данных	Отсутствие больших анонимизированных наборов для калибровки	Использование специфических дескрипторов в БД
Регуляторная неопределенность	Отсутствие единых требований к моделям	Разработка специализированных руководств
Воспроизводимость	Гетерогенность методологий	Стандартизация через единый набор исходных данных
Квалификация	Разграничение верификации и валидации	Разработка рамочных требований к достоверности

Несмотря на впечатляющие успехи, методология *in silico* сталкивается с рядом фундаментальных проблем. Первая и наиболее глубокая – принципиальная неполнота любой модели, являющейся редукцией бесконечно сложного эмпирического мира к конечному набору переменных и отношений. Это не дефект, устраняемый наращиванием детализации, а имманентное свойство моделирования. Ценность модели не в фотографической точности копирования реальности, а в способности эксплицировать скрытые существенные связи и продуцировать верифицируемые прогнозы [5].

Вторая проблема связана с мультимасштабным характером биологических систем. Эффективное моделирование требует корректного сопряжения моделей разных уровней – от квантово-химических расчетов до тканевого и организменного уровней. Решением становится разработка иерархических подходов, где результаты моделирования на нижнем уровне служат входными параметрами для моделей верхнего уровня.

Третья проблема – интерпретируемость моделей. В работе Remil подчеркивается, что зависимость от непрозрачных моделей ("черных ящиков") ограничивает их принятие промышленными практиками, которым необходимо четкое понимание процесса принятия решений [3]. Развитие explainable AI (XAI) в контексте моделирования биологических систем становится критически важным направлением.

Для биомедицинских приложений особую значимость приобретает проблема трансляции результатов, полученных на моделях, в клиническую практику. Как отмечается в систематическом обзоре [8], несмотря на очевидный потенциал вычислительных подходов к трансформации разработки лекарств, остаются вызовы в области стандартизации, масштабируемости и регуляторной интеграции.

Заключение

Основными трендами развития *in silico* моделирования на ближайшие годы становятся гибридизация подходов различного масштаба, интеграция с методами машинного обучения и искусственного интеллекта, а также расширение регуляторного признания. Пятый моделинг-воркшоп зафиксировал консенсус относительно того, что моделирование может рассматриваться как компонент или предшественник машинного обучения, при этом все четыре категории моделей (биофизические, механистические, CFD и заводские) демонстрируют устойчивый прогресс [2].

Биофизическое и молекулярное моделирование имеет значительные перспективы для исследовательских инвестиций, способных реализовать их полный потенциал. Однако потребность в продолжающихся исследованиях и разработках для всех типов моделей не препятствует их применению для поддержки разработки процессов, производства и использования в регуляторной документации [2].

Современные подходы к *in silico* моделированию должны создавать симбиоз методов квантовой химии, молекулярной механики, мезомасштабного моделирования и CFD-симуляций, интегрированных в единую методологическую рамку. Ключевым фактором успеха остается подготовка междисциплинарных специалистов, сочетающих глубокие знания в предметной области (биология, химия, физика) с компетенциями в области вычислительной математики и программирования [2].

Будущие исследования в данной сфере должны быть направлены на создание стандартизированных протоколов валидации моделей, разработку методов анонимизированного обмена данными для калибровки, интеграцию с квантовыми вычислениями для ускорения расчетов, а также развитие подходов к виртуальным клиническим испытаниям. Особого внимания заслуживает создание самообучающихся модельных систем, способных адаптироваться к новым данным в режиме реального времени [2, 8].

Как подчеркивается в аналитическом обзоре, *in silico* не отменяет теоретическое мышление и не подменяет натурный эксперимент. Его функция иная: оно снабжает мышление количественным инструментом проверки гипотез, а эксперименту задаёт вектор целенаправленного поиска [5]. Для специалиста в области информационных систем из этого вытекает удвоенная мера ответственности: ошибки концептуализации не могут быть скомпенсированы безупречностью кодирования. Овладение методологией *in silico* следует понимать как интернализацию профессиональной культуры перевода нечеткого образа желаемого результата в строго формализованный, однозначно интерпретируемый алгоритм его достижения.

Список литературы

1. Канисков В.Л. Математическое моделирование, как основа для *in silico*: конструирование базовых структур, воздействующих на фармакологические мишени сердечно-сосудистой системе // КиберЛенинка. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-kak-osnova-dlya-in-](https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-kak-osnova-dlya-in-silico)

silico-konstruirovaniye-bazovyh-struktur-vozdystvuyuschih-na-farmakologicheskie (дата обращения: 22.02.2026).

2. Wittkopp F., Welsh J., Todd R., et al. Current state of implementation of in silico tools in the biopharmaceutical industry—Proceedings of the 5th modeling workshop // *Biotechnology and Bioengineering*. 2024. Vol. 121, № 9. P. 2952-2973. DOI: 10.1002/bit.28768. URL: <https://doi.org/10.1002/bit.28768> (дата обращения: 22.02.2026).

3. Remil Y. A data mining perspective on explainable AIOps with applications to software maintenance: Ph.D. thesis. INSA de Lyon, 2023. URL: <https://theses.hal.science/tel-04391281> (дата обращения: 22.02.2026).

4. Xu J., Wiley H.S., Sauro H.M. Generating synthetic signaling networks for in silico modeling studies // *Journal of Theoretical Biology*. 2024. Vol. 593. Art. 111901. DOI: 10.1016/j.jtbi.2024.111901. URL: https://searchworks.stanford.edu/articles/cmedm__39004118 (дата обращения: 22.02.2026).

5. Рыбкин В.В. В разных масштабах // *Элементы*. URL: https://old.elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/432223/V_raznykh_masshtabakh (дата обращения: 22.02.2026).

6. Pattani N., Sanghera J., Mills E., et al. Use of in silico research in the development of abdominal and thoracic surgical devices: a systematic review // *BMJ Innovations*. 2025. Vol. 11, № 3. P. 147-158. URL: <https://innovations.bmj.com/content/11/3/147> (дата обращения: 22.02.2026).

7. Как ускорить экспериментальную часть работы по созданию новых наночастиц для терапии онкологических заболеваний // *Российская академия наук*. 2023. URL: <https://new.ras.ru/press-center/kak-uskorit-eksperimentalnuyu-chast-raboty-po-sozdaniyu-novykh-nanochastits-dlya-terapii-onkologiche/> (дата обращения: 22.02.2026).

8. Mittal R., Ho A., Adivikolanu H., et al. Exploring the potential of computer simulation models in drug testing and biomedical research: a systematic review // *Frontiers in Pharmacology*. 2025. Vol. 16. Art. 1644907. DOI: 10.3389/fphar.2025.1644907. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2025.1644907> (дата обращения: 22.02.2026).

9. Тетуев Р.К., Назипова Н.Н. Статистическая модель предсказания сайтов связывания TALEN с ДНК на основе скользящего среднего // Математическая биология и биоинформатика. 2023. Т. 18, № 2. С. 621-645. DOI: 10.17537/2023.18.621. URL: https://www.matbio.org/article.php?journ_id=45&id=557 (дата обращения: 22.02.2026).
10. Gupta G.K., Baig M.H., eds. In Silico Chemistry and Biology: Current and Future Prospects. Berlin: De Gruyter, 2022. 213 p. URL: <http://repo.ssau.ru/handle/eBooks/In-Silico-Chemistry-and-Biology-113475> (дата обращения: 22.02.2026).
11. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27–40.
12. Моделирование колебательных процессов в пакете MVStudium / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.
13. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.
14. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, № 4. – P. 329–338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.

References

1. Kaniskov V.L. Mathematical Modeling as a Basis for In Silico: Construction of Basic Structures Affecting Pharmacological Targets of the Cardiovascular System // CyberLeninka.
2. Wittkopp F., Welsh J., Todd R., et al. Current state of implementation of in silico tools in the biopharmaceutical industry—Proceedings of the 5th modeling workshop // Biotechnology and Bioengineering. 2024. Vol. 121, No. 9. Pp. 2952-2973.
3. Remil Y. A data mining perspective on explainable AIOps with applications to software maintenance: Ph.D. thesis. INSA de Lyon, 2023.

4. Xu J., Wiley H.S., Sauro H.M. Generating synthetic signaling networks for in silico modeling studies // *Journal of Theoretical Biology*. 2024. Vol. 593. Art. 111901.
5. Rybkin V.V. At Different Scales // *Elementy*.
6. Pattani N., Sanghera J., Mills E., et al. Use of in silico research in the development of abdominal and thoracic surgical devices: a systematic review // *BMJ Innovations*. 2025. Vol. 11, No. 3. Pp. 147-158.
7. How to Accelerate the Experimental Part of Work on Creating New Nanoparticles for Cancer Therapy // *Russian Academy of Sciences*. 2023.
8. Mittal R., Ho A., Adivikolanu H., et al. Exploring the potential of computer simulation models in drug testing and biomedical research: a systematic review // *Frontiers in Pharmacology*. 2025. Vol. 16. Art. 1644907.
9. Tetuev R.K., Nazipova N.N. Statistical Model for Predicting TALEN Binding Sites with DNA Based on Moving Average // *Mathematical Biology and Bioinformatics*. 2023. Vol. 18, No. 2. Pp. 621-645.
10. Gupta G.K., Baig M.H., eds. *In Silico Chemistry and Biology: Current and Future Prospects*. Berlin: De Gruyter, 2022. 213 p.
11. V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun, Research of ways to protect information from leakage through acoustic and vibroacoustic channels // *Modeling of systems and processes*. 2025. Vol. 18, No. 2. pp. 27-40.
12. Modeling of oscillatory processes in the MVStudium package / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, V. I. Antsiferova // *Modeling of systems and processes*. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.
13. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*. – 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.
14. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // *Russian Microelectronics*. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.

РАЗРАБОТКА СЕРВИСА АВТОРИЗАЦИИ НА FASTAPI С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ JWT

А.И. Литвинов¹, Г.И. Будовская¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается практическая реализация сервиса авторизации на базе фреймворка FastAPI с применением JWT-токенов и асинхронного взаимодействия с базой данных. Обосновывается переход от использования Keycloak к легковесному специализированному решению в условиях ограниченных ресурсов и отсутствия необходимости в избыточном функционале. Описываются ключевые компоненты архитектуры: модели данных, процесс регистрации и аутентификации пользователей, разграничение доступа на основе ролей, а также механизмы защиты маршрутов. Предложенное решение может быть интегрировано в распределенные информационные системы в качестве централизованного сервиса аутентификации.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, авторизация, FastAPI, JWT, асинхронное программирование, ролевая модель доступа, Python.

DEVELOPMENT OF AN AUTHORIZATION SERVICE IN FASTAPI USING JWT

A.I. Litvinov¹, G.I. Budovskaya¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article discusses the practical implementation of an authorization service based on the FastAPI framework using JWT tokens and asynchronous database interaction. The transition from using Keycloak to a lightweight specialized solution is justified under conditions of limited resources and the absence of a need for excessive functionality. The key architectural components are described: data models, the process of user registration and authentication, role-based access control, and route protection mechanisms. The proposed solution can be integrated into distributed information systems as a centralized authentication service.

Keywords: microservice architecture, authorization, FastAPI, JWT, asynchronous programming, role-based access control, Python.

Введение

В современной разработке принято, что ИС – это не одно огромное приложение, а группа связанных сервисов. Вопросы хранения учетных записей, проверки прав доступа и управления токенами требуют централизованного подхода. Выделение сервиса авторизации в отдельный микросервис позволяет основным приложениям делегировать задачи аутентификации и не реализовывать собственную логику работы с паролями.

В разрабатываемом проекте изначально использовался Keycloak. Однако в процессе эксплуатации выяснилось, что для нужд основного приложения большинство его возможностей оставались невостребованными, при этом Keycloak предъявлял значительные требования к ресурсам и усложнял установку приложения на сторонние сервера. Это послужило причиной разработки легковесного специализированного решения.

FastAPI обеспечивает автоматическую генерацию OpenAPI-документации, встроенную валидацию данных и высокую производительность. Асинхронный режим критически важен, поскольку блокирующие запросы к базе данных могут снизить пропускную способность приложения.

Для работы с базой данных выбрана SQLAlchemy в асинхронном режиме. Такой подход позволил абстрагироваться от конкретной СУБД: на этапе разработки используется SQLite, в продакшене скорее всего будет PostgreSQL, как в остальных сервисах, причем смена базы данных не требует изменения кода.

В реализации используется bcrypt с 12 раундами соляного хеширования – это оптимальный баланс между безопасностью и производительностью. Библиотека python-jose обеспечивает поддержку JWT-спецификации.

Архитектура сервиса

Основные сущности – пользователь и роль с отношением многие-ко-многим:

```
class User(Base):
    __tablename__ = "users"
    id = Column(Integer, primary_key=True)
    username = Column(String, unique=True, index=True)
    email = Column(String, unique=True, index=True)
    hashed_password = Column(String)
```

```
is_active = Column(Boolean, default=True)
roles = relationship("Role", secondary=user_role, lazy="selectin")
```

Использование `lazy="selectin"` предотвращает проблему N+1 запроса при загрузке пользователей с ролями.

При старте приложения автоматически создаются стандартные роли ("admin", "user"). Учетные данные администратора задаются через переменные окружения `ADMIN_USERNAME` и `ADMIN_PASSWORD`, что обеспечивает безопасность и гибкость настройки. Система готова к работе сразу после развертывания без ручного вмешательства.

Реализация аутентификации

Процесс регистрации включает проверку уникальности имени пользователя и email, хеширование пароля и автоматическое назначение роли "user":

```
@router.post("/register")
async def register(user_data: UserCreate, db: AsyncSession = Depends(get_db)):
    # Проверка уникальности
    result = await db.execute(select(User).where(User.username == user_data.username))
    if result.scalar_one_or_none():
        raise HTTPException(status_code=400, detail="Username already registered")

    # Создание пользователя
    hashed_password = get_password_hash(user_data.password)
    new_user = User(username=user_data.username, email=user_data.email,
                    hashed_password=hashed_password, is_active=True)

    # Назначение роли "user"
    result = await db.execute(select(Role).where(Role.name == "user"))
    user_role = result.scalar_one()
    new_user.roles.append(user_role)

    db.add(new_user)
    await db.commit()
```

При успешной проверке учетных данных генерируется JWT-токен с временем жизни 30 минут. В payload включается только идентификатор пользователя:

```
@router.post("/login")
async def login(credentials: UserLogin, db: AsyncSession = Depends(get_db)):
    user = await authenticate_user(db, credentials.username, credentials.password)
```

```

if not user:
    raise HTTPException(status_code=401, detail="Invalid credentials")

access_token = create_access_token(
    data={"sub": user.username},
    expires_delta=timedelta(minutes=30)
)
return {"access_token": access_token, "token_type": "bearer"}

```

Тридцатиминутный срок действия – это компромисс между безопасностью и удобством. Для долгоживущих сессий потребуется внедрение refresh-токенов.

Функция извлекает токен из заголовка Authorization, верифицирует его и загружает пользователя из базы данных:

```

async def get_current_user(
    credentials: HTTPAuthorizationCredentials = Depends(security),
    db=Depends(get_db)
) -> User:
    payload = decode_token(credentials.credentials)
    username = payload.get("sub")

    result = await db.execute(
        select(User).where(User.username == username)
        .options(selectinload(User.roles))
    )
    user = result.scalar_one_or_none()

    if not user or not user.is_active:
        raise HTTPException(status_code=401)
    return user

```

Для разграничения доступа создана функция-фабрика, проверяющая наличие хотя бы одной из требуемых ролей:

```

def require_roles(role_names: List[str]):
    async def _check(user: User = Depends(get_current_user)) -> User:
        user_roles = {r.name for r in user.roles}
        if not user_roles.intersection(role_names):
            raise HTTPException(status_code=403, detail="Insufficient permissions")
        return user
    return _check

```

Управление пользователями

Для администраторов реализован набор эндпоинтов для CRUD-операций с учетными записями. При удалении пользователей предусмотрена защита от самоудаления:

```
@router.delete("/{user_id}")
async def delete_user(
    user_id: int,
    db=Depends(get_db),
    _current_user: User = Depends(require_roles(["admin"]))
):
    if user.id == _current_user.id:
        raise HTTPException(status_code=400, detail="Cannot delete yourself")
    await db.delete(user)
    await db.commit()
```

Обычным пользователям доступен только просмотр собственного профиля через эндпоинт `/auth/users/me`.

Заключение

Предложенное решение может служить основой для построения распределенных систем, требующих централизованного управления доступом. Дальнейшее развитие сервиса может включать внедрение refresh-токенов, интеграцию с внешними OAuth2-провайдерами и реализацию черных списков токенов. При масштабировании до уровня крупных распределенных систем управление доступом может потребовать применения методов ситуационного моделирования и теории принятия решений.

Список литературы

1. Аншина, М. Л. Архитектура приложений и данных : учебное пособие / М. Л. Аншина. – Москва: РТУ МИРЭА, 2024. – 152 с. – ISBN 978-5-7339-2218-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/421100> (дата обращения: 16.10.2025).
2. Годзурас, Э. Docker Compose для разработчика : руководство / Э. Годзурас ; перевод с английского А. Н. Киселева. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – 220 с. – ISBN 978-5-93700-203-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/348110> (дата обращения: 16.10.2025).

3. Кочер, П. С. Микросервисы и контейнеры Docker : руководство / П. С. Кочер ; перевод с английского А. Н. Киселева. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 240 с. – ISBN 978-5-97060-739-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/123710> (дата обращения: 16.10.2025).
4. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77.
5. FastAPI documentation. – URL: <https://fastapi.tiangolo.com> (дата обращения: 20.02.2026).
6. Passlib documentation. – URL: <https://passlib.readthedocs.io> (дата обращения: 20.02.2026).
7. SQLAlchemy 2.0 Documentation. – URL: <https://docs.sqlalchemy.org> (дата обращения: 20.02.2026).

References

1. Anshina, M. L. Application and Data Architecture: a textbook / M. L. Anshina. – Moscow: RTU MIREA, 2024. 152 p. ISBN 978-5-7339-2218-8. – Text: electronic // Lan: electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/421100> (date of request: 16.10.2025).
2. Godzouras, E. Docker Compose for the developer: a guide / E. Godzouras ; translated from English by A. N. Kiselyov. – Moscow: DMK Press, 2023. – 220 p. – ISBN 978-5-93700-203-7. – Text: electronic // Lan: electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/348110> (date of request: 16.10.2025).
3. Kocher, P. S. Microservices and Docker containers: a guide / P. S. Kocher ; translated from English by A. N. Kiselyov. – Moscow: DMK Press, 2019. 240 p. ISBN 978-5-97060-739-8. – Text: electronic // Lan: electronic library system. – URL: <https://e.lanbook.com/book/123710> (date of request: 16.10.2025).
4. Sumin, V. I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77.
5. FastAPI documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://fastapi.tiangolo.com> (date of request: 02/20/2026).

6. Passlib documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://passlib.readthedocs.io> (date of request: 02/20/2026).

7. SQLAlchemy 2.0 Documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://docs.sqlalchemy.org> (date of request: 02/20/2026).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В.С. Лучников¹, Н.Ю. Юдина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматриваются мультиспектральные и гиперспектральные данные в рамках распознавания объектов с целью использования их для повышения точности классификации. Проведённый анализ позволяет определить направления развития алгоритмов распознавания объектов с целью эффективного использования.

Ключевые слова: Распознавание объектов, мультиспектральные данные, гиперспектральные данные, спутниковые изображения.

USING MULTISPECTRAL AND HYPERSPECTRAL DATA TO IMPROVE THE ACCURACY OF OBJECT RECOGNITION IN SATELLITE IMAGES

V. S. Luchnikov¹, N. Yu. Yudina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper discusses multispectral and hyperspectral data in the context of object recognition in order to use them to improve the accuracy of classification. The analysis conducted allows us to identify the directions for developing object recognition algorithms in order to use them effectively.

Keywords: Object recognition, multispectral data, hyperspectral data, satellite images.

Введение

Задачи автоматического распознавания объектов на спутниковых изображениях имеют особую актуальность в связи с быстрым развитием технологий дистанционного зондирования Земли и ростом доступности данных высокого разрешения за счет открытых космических миссий. Современные спутниковые

системы, оснащенные мультиспектральными и гиперспектральными камерами, позволяют получить значительно больше информации с одного изображения. Это открывает новые возможности для повышения точности классификации объектов.

Одновременно с ростом количества спектральных данных развиваются методы машинного обучения, способные извлекать пространственно-спектральные признаки и эффективно их обрабатывать. Использование сверточных сетей позволяет моделям эффективно интегрировать информацию о структуре объектов и спектральных корреляциях, повышая надежность распознавания в условиях шумов и изменчивых условий освещенности

Несмотря на преимущества, использование спектральных данных сопровождается рядом особенностей, которые требуют адаптации моделей и алгоритмов обработки для достижения максимальной точности распознавания объектов.

Цель данной статьи – проанализировать возможности использования мультиспектральных и гиперспектральных данных для повышения точности распознавания объектов на спутниковых изображениях.

Анализ спектральной сигнатуры различных материалов

Сложность распознавания объектов зависит от спектральной сигнатуры спутниковых изображений. Эта величина отражает совокупность свойств объекта, таких как физические, химические и биологические. На спектральных изображениях материал отражает и поглощает свет.

На рисунке 1 представлено RGB изображение земной поверхности с различными покрытиями. Спутниковый снимок может использоваться для визуального подтверждения корректности классификации.



Рисунок 1 – RGB изображение земной поверхности

На рисунке 2 представлен график спектральной сигнатуры различных материалов, полученной в результате обработки спутникового изображения.

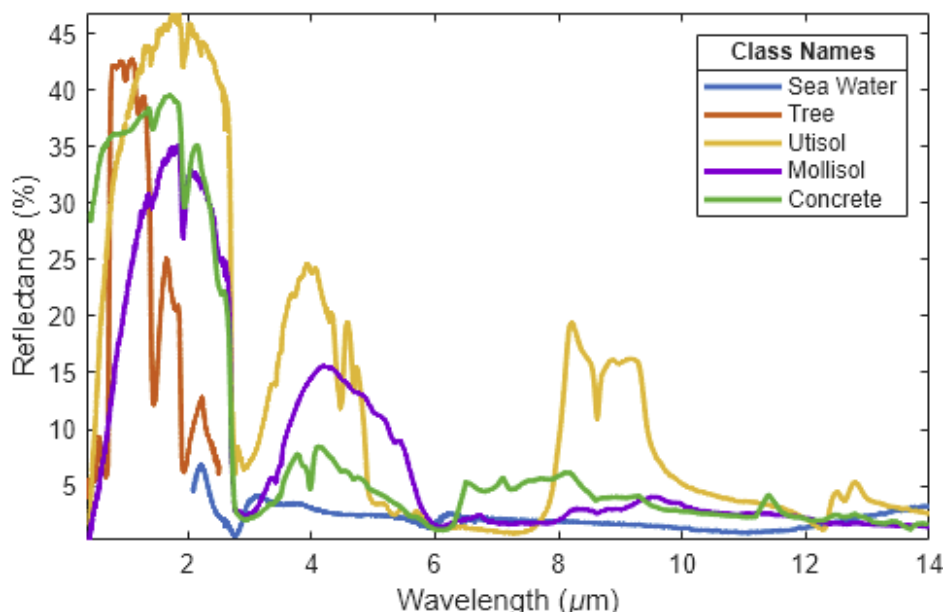


Рисунок 2 – График спектральной сигнатуры различных материалов

На графике отображены несколько волн, представленных различными материалами. Анализ графика позволит различать похожие по типу объекты, поскольку отрадательная способность объекта (ось Y на графике) изменяется в зависимости от длины волны (ось X на графике). Даже если объекты визуально схожи, их спектральные кривые могут существенно отличаться. Эффективность классификации повышается за счёт исследования спектральных характеристик, которые отражают внутренние физико-химические свойства материала.

График демонстрирует, что визуально одинаковые объекты могут существенно различаться по спектральной сигнатуре. Это невозможно выявить при анализе только RGB-изображений, поскольку они содержат информацию в трёх каналах видимого спектра.

Классифицированная карта поверхности представлена на рисунке 3. Используя цветовую классификацию показано распределение разных типов поверхностей. Такой подход обеспечивает провести оценку пространственного распределения материалов, что дает возможность отличить природные поверхности от искусственных.

Точность распознавания объектов повышается при использовании анализа спектральных характеристик.

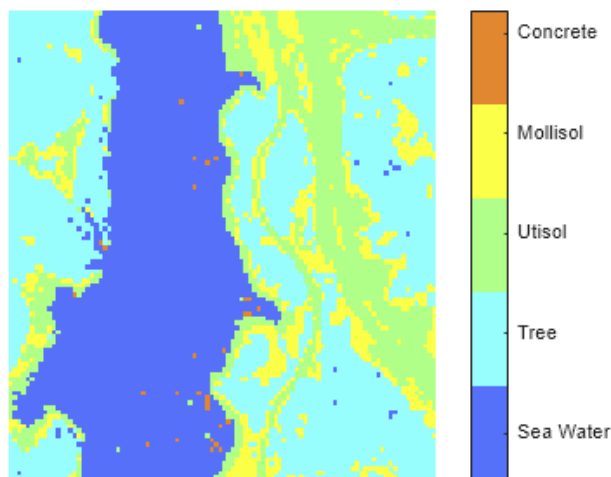


Рисунок 3 – Классификационная карта поверхности

Мультиспектральные и гиперспектральные данные

Создание мультиспектральных изображений обеспечивается сенсорами, фиксирующими излучение в широких спектральных диапазонах. Сенсоры являются ключевыми элементами любой съемочной системы. Спектральные каналы входящие в эти устройства охватывают различные диапазоны, такие как видимый, ближний и коротковолновый инфракрасный. Каждый канал при многоканальной съемке предназначен для своего участка спектра.

Сравнение мультиспектральных снимков, сделанных в разное время, позволяет выявлять изменения в ландшафте, например строительство новых объектов. Комбинация спектральных каналов облегчает классификацию типов земного покрова за счет выделения границ полей, городских территорий и водоемов, что позволяет создавать более точные географические карты

Среди преимуществ мультиспектральных данных можно отметить относительно небольшой объём и открытый доступ к наборам данных.

На рисунке 4 представлен мультиспектральный снимок, полученный со спутника Sentinel 2.

Гиперспектральные изображения содержат несколько сотен спектральных каналов. Для отдельного спектра формируется спектральная сигнатура для идентификации по спектральным характеристикам. За счет чего данный тип изображений позволяет провести химический и минеральный анализ объектов. Спектральные признаки помогают обнаружить объекты, скрытые под снегом, листво



Рисунок 4 – Мультиспектральный снимок

Высокая детализация сопровождается большим объемом информации, что требует значительных вычислительных ресурсов. Для эффективного извлечения полезных признаков и классификации объектов используют методы снижения размерности такие как визуализация кластеров (t-SNE, UMAP), шумоподавление (PCA, Truncated SVD) и другие.

Гиперспектральное изображение показано на рисунке 5.

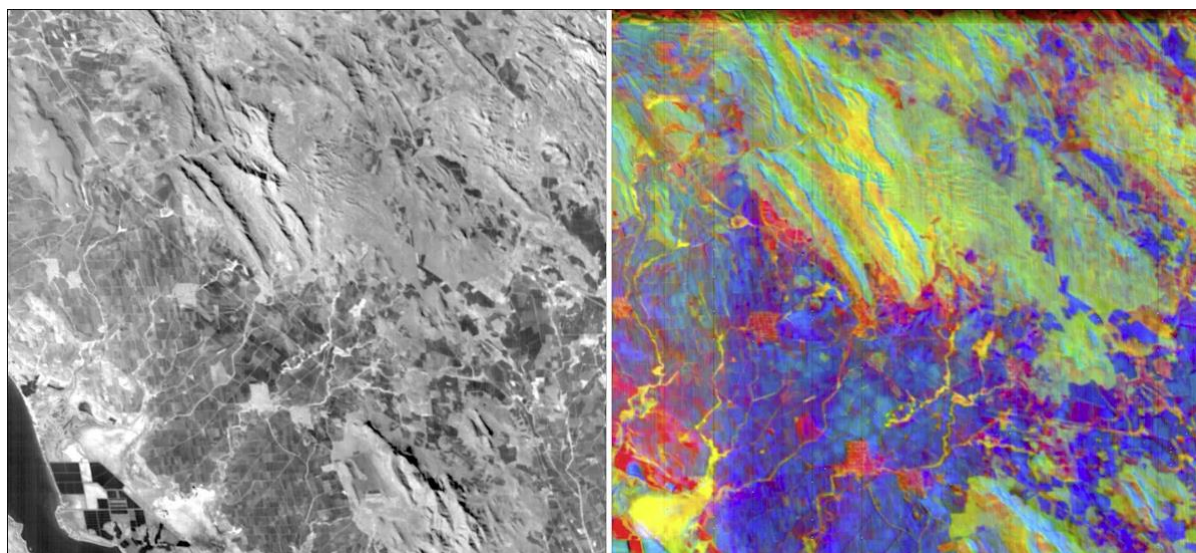


Рисунок 5 – Гиперспектральный снимок

Заключение

В работе были рассмотрены мультиспектральные и гиперспектральные данные. Как показал анализ спектральных характеристик полученных изображений, они позволяют идентифицировать объекты достаточно точно. Повышение надежности моделей предлагается проводить на базе интеграции современных алгоритмов обработки мультиспектральной и гиперспектральной информации. Такой подход позволит обеспечить разработку точных адаптивных систем распознавания объектов.

Список литературы

1. Математическое обеспечение информационно-управляющей системы для хранения продукции с ограниченным сроком хранения / Д. В. Арапов, Н. Ю. Юдина, В. А. Курицын, Л. А. Коробова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 7-18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – EDN CXBIVK.
2. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYU.
3. Мясников В. В. Метод обнаружения транспортных средств на цифровых аэрофото- и космических изображениях дистанционного зондирования Земли // Компьютерная оптика. – 2024. – Т. 36, № 3. – С.(рос.)
4. Применение искусственных нейронных сетей для анализа мультиспектральных изображений / М. Ю. Альес, Е. А. Антонов, М. Р. Зарипов, А. И. Калугин // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88, № 8. – С. 48-53. – DOI 10.17586/1023-5086-2021-88-08-48-53.
5. Object detection in hyperspectral images / Z. A. Lone, A. R. Pais, A. ... // Digital Signal Processing. – 2022. – Vol. 131. – Art. 103752. – DOI 10.1016/j.dsp.2022.103752.
6. Kanatchikov A.A. Comparative Analysis of Methods for Detecting and Determining the Parameters of Space-Based SAR Sounding Signals. Zhurnal radioelektronika [electronic journal]. 2020. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.2>
7. Sergienko A.B. Digital Signal Processing: Textbook. allowance. - 3rd ed. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2011. - 768 p.: ill. – (Educational literature for universities)

8. Yudina N.Yu., Kovalev A.N. Analysis of factors influencing the reliability of structural elements of complex computing systems. – 2017. – T. 10, No 3. – P. 86-93.

References

1. Mathematical support for the information and control system for storing products with a limited shelf life / D. V. Arapov, N. Yu. Yudina, V. A. Kuritsyn, L. A. Korobova // Modeling of systems and processes. - 2024. - Vol. 17, No. 1. - Pp. 7-18. - DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. - EDN CXBIVK.

2. Mochalov, V. P. Algorithm for dynamic distribution and load balancing in distributed cloud computing / V. P. Mochalov, N. Yu. Bratchenko, D. V. Gosteva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

3. Myasnikov V. V. Method for detecting vehicles in digital aerial and space images of Earth remote sensing // Computer Optics. – 2024. – Vol. 36, No. 3. – Pp. (Russian)

4. Application of artificial neural networks for the analysis of multispectral images / M. Yu. Alies, E. A. Antonov, M. R. Zaripov, A. I. Kalugin // Optical Journal. – 2021. – Vol. 88, No. 8. – P. 48 53. – DOI 10.17586/1023 5086 2021 88 08 48 53.

5. Object detection in hyperspectral images / Z. A. Lone, A. R. Pais, A. ... // Digital Signal Processing. – 2022. – Vol. 131. – Art. 103752. – DOI 10.1016/j.dsp.2022.103752.

6. Kanatchikov A.A. Comparative Analysis of Methods for Detecting and Determining the Parameters of Space-Based SAR Sounding Signals. Zhurnal radioelektronika [electronic journal]. 2020. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.2>

7. Sergienko A.B. Digital Signal Processing: Textbook. allowance. - 3rd ed. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2011. - 768 p.: ill. – (Educational literature for universities)

8. Yudina N.Yu., Kovalev A.N. Analysis of factors influencing the reliability of structural elements of complex computing systems. – 2017. – T. 10, No 3. – P. 86-93.

ОСОБЕННОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В.С. Лучников¹, Н.Ю. Юдина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматриваются особенности распознавания объектов на спутниковых изображениях и описываются современные архитектуры нейронных сетей, применяемые для решения задачи. Проведённый обзор позволяет определить направления развития алгоритмов распознавания объектов с целью эффективного использования.

Ключевые слова: Распознавание объектов, машинное обучение, спутниковые изображения.

FEATURES OF OBJECT RECOGNITION IN SATELLITE IMAGES

V. S. Luchnikov¹, N. Yu. Yudina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper examines the features of object recognition in satellite images and describes modern neural network architectures used to solve the problem. The conducted review allows us to determine the directions of development of object recognition algorithms for effective use.

Keywords: Object recognition, machine learning, satellite images.

Введение

Спутниковые изображения представляют собой источник информации об объектах, процессах и изменениях, происходящих на Земле. Актуальная информация, полученная со спутников, позволяет принимать решения в различных сферах использования этой технологии. Задача распознавания объектов является ключевой для таких сфер, как: картография, сельское хозяйство, городское планирование и оборона. Решение этой задачи позволит значительно ускорить развитие критически важных областей.

Несмотря на высокий уровень развития технологии спутниковой съемки, объем получаемых данных растет, что требует оперативной обработки больших массивов информации. Во время анализа изображений появляется необходимость решения проблем, связанных с особенностью фиксации изображения из космоса. Типовым примером может стать наличие сложных фонов или влияние погодных условий. Автоматизация распознавания изображения с использованием методов машинного обучения показало эффективность в классификации и поиске объектов.

Сложность применения методов машинного обучения заключается в необходимости “обучения” алгоритма на тестовых примерах, что требует наличия большого объема размеченных и достоверных данных, получение которых часто связано со значительными временными и финансовыми затратами.

Целью статьи является обзор особенностей спутниковых изображений, архитектур нейронных сетей и существующих методов машинного обучения, которые могут быть применены в области распознавания объектов на спутниковых изображениях.

Особенности распознавания спутниковых изображений

Процесс распознавания спутниковых изображений представляет собой многоэтапную процедуру обработки данных, которая не лишена сложностей, связанных с внешними условиями при проведении спутниковой съемки.

Прежде всего, качество получаемых данных зависит от погодных условий в момент съёмки. Метеорологические явления могут приводить к искажению информации об исследуемых объектах. При высоком уровне облачности объект исследования может быть полностью скрыт. На качество снимка также влияет освещение, сезон и время суток.

Важным фактором, усложняющим распознавание изображения может стать рельеф местности. Перепады высот, наличие лесных массивов, оврагов формируют тени и геометрические искажения, затрудняющие корректное определение формы, размеров и положения объектов. В зависимости от угла съёмки объект может иметь различное визуальное представление, что снижает устойчивость алгоритмов распознавания.

Спутниковые снимки могут быть получены в различных разрешениях, тип разрешения существенно влияет на сложность распознавания. Пространственное разрешение определяет размер объекта, который может быть различим на снимке.

Малые объекты сложно идентифицируются на изображениях с низким разрешением, что может затруднить классификацию. Высокое разрешение обеспечивает большую детализацию, однако приводит к увеличению объёма данных, за счет чего повышаются требования к мощности вычислительной системы.

На рисунке 1 представлены спутниковые изображения с разным пространственным разрешением.

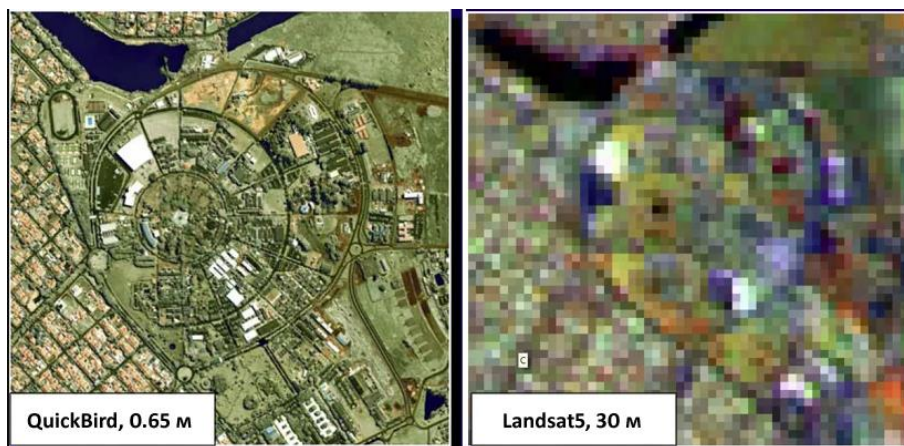


Рисунок 1 – Спутниковые изображения с разным пространственным разрешением

Таким образом, рост разрешения повышает аналитические возможности, но одновременно увеличивает вычислительную сложность и требования к алгоритмам распознавания. Кроме того, спутниковые системы формируют значительные массивы информации, что требует применения эффективных методов хранения, фильтрации и анализа данных.

Современные архитектуры нейронных сетей и их применение

Для задач классификации объектов на спутниковых изображениях применяются различные архитектуры нейронных сетей, преимущественно основанные на методах глубокого обучения. Выбор архитектуры определяется типом задачи, разрешением изображений и объёмом доступных данных.

Базовым примером архитектуры для использования в целях распознавания объектов является CNN. Алгоритмы, основанные на этой архитектуре обучаются отличать ключевые признаки объектов от случайных деталей, что помогает снизить влияние фонового шума. Слои архитектуры CNN используют фильтры, которые помогают идентифицировать объекты на фоне сложных рельефов за счет обнаружения контуров и форм. Примерами алгоритмов являются ResNet и VGGNet.

На рисунке 2 представлено графическое описание архитектуры CNN.

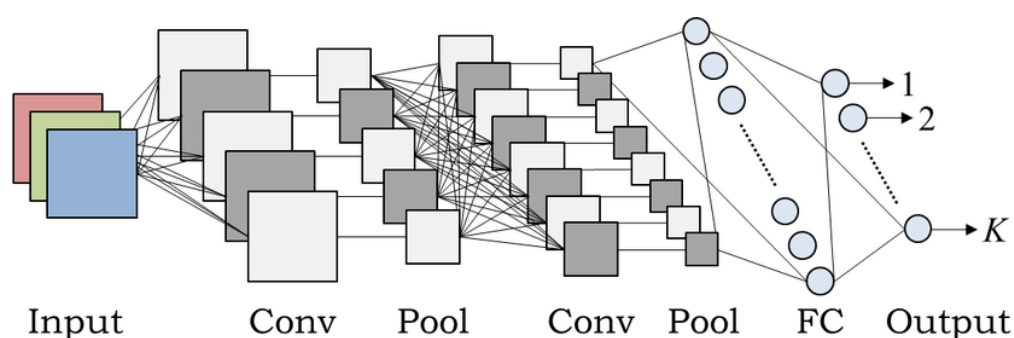


Рисунок 2 – CNN архитектура

Архитектура FCN, основной идеей которой является внедрение сверточных слоев и получение на выходе карты сегментации позволяет принимать на вход изображения любого разрешения. Соединения через пропуск позволяют сохранять контекст для более точного выделения контуров объекта. Примерами алгоритмов являются U-Net, SegNet и DeepLab.

На рисунке 3 представлено графическое описание FCN архитектуры.

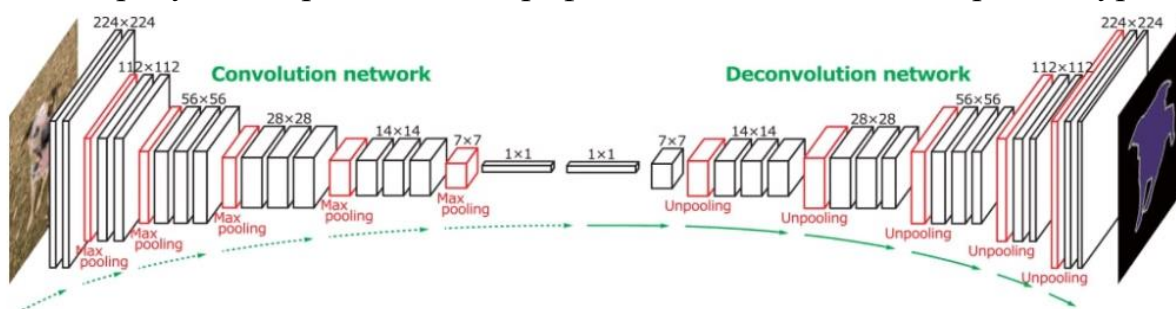


Рисунок 3 – FCN архитектура

Относительно новой архитектурой для распознавания является YOLO. Основная идея модели заключается в том, что она предсказывает объекты и их позиции за один проход по изображению, в отличие от двухэтапных детекторов, где сначала формируются предложения регионов, а затем выполняется классификация. Механизм Anchor boxes позволяет модели распознавать частично скрытые объекты. Архитектура YOLO построена на основе принципа извлечения и анализа отдельных признаков объекта, что уменьшает зависимость от изменений яркости. За счет отказа от этапа генерации регионов интереса алгоритму удастся достигать высокой скорости обработки больших объемов данных.

На рисунке 4 представлено графическое описание архитектуры YOLO.

2. Мочалов, В. П. Алгоритм динамического распределения и балансировки нагрузки в распределенных облачных вычислениях / В. П. Мочалов, Н. Ю. Братченко, Д. В. Гостева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EDN EWMPYM.

3. Мясников В. В. Метод обнаружения транспортных средств на цифровых аэрофото- и космических изображениях дистанционного зондирования Земли // Компьютерная оптика. – 2024. – Т. 36, № 3. – С.(рос.)

4. Adegun A. A., Viriri S. State-of-the-Art Deep Learning Methods for Objects Detection in Remote Sensing Satellite Images // Sensors. – 2023. – Vol. 23, No. 13. – Art. 5849. – DOI 10.3390/s23135849.

5. Zhao Z.-Q., Zheng P., Xu S.-T., Wu X. Object Detection with Deep Learning: A Review // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2019. – Vol. 30, No. 11. – P. 3212–3232. – DOI 10.1109/TNNLS.2018.2876865.

References

1. Mathematical support of an information management system for storing products with a limited shelf life / D. V. Arapov, N. Yu. Yudina, V. A. Kuritsyn, L. A. Korobova // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 1. – PP. 7-18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – ED. CXBIVK.

2. Mochalov, V. P. Algorithm of dynamic load distribution and balancing in distributed cloud computing / V. P. Mochalov, N. Y. Bratchenko, D. V. Gosteva // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 1. – PP. 92-102. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-92-102. – EWMPYM PUBLISHING HOUSE.

3. Myasnikov V. V. Method of vehicle detection on digital aerial and space images of remote sensing of the Earth // Computer optics. – 2024. – Vol. 36, No. 3. – S.(Russian)

4. Adegun A. A., Viriri S. Modern deep learning methods for detecting objects on satellite images of remote sensing of the earth // Sensors. – 2023. – Volume 23, No. 13. – Article 5849. – DOI 10.3390/s23135849.

5. Zhao Z.-K., Zheng P., Xu S.-T., Wu H. Object detection using deep learning: an overview // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2019. – Volume 30, No. 11. – pp. 3212-3232. – DOI 10.1109/TNNLS.2018.2876865.

КОНФИГУРАТОР ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОФИСНОГО СКЛАДА ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАКАЗОВ

А.А. Люков¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена разработке конфигуратора цифровых двойников офисного склада как модуля Java-системы автоматизации заказов. Представлена формализованная дискретно-событийная модель материальных потоков, позволяющая проводить имитационные эксперименты для оценки различных алгоритмов пополнения запасов до их фактического внедрения, снижая риски и повышая обоснованность проектных решений.

Ключевые слова: цифровой двойник, имитационное моделирование, складская логистика, автоматизация заказов, дискретно-событийная модель, управление запасами, Java-система, материальные потоки, САЕ, оптимизация

CONFIGURATOR OF DIGITAL TWINS FOR OFFICE WAREHOUSE FOR SIMULATION OF LOGISTICS PROCESSES IN THE ORDER AUTOMATION SYSTEM

A.A. Lyukov¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to the development of a configurator of digital twins for an office warehouse as a module of a Java-based order automation system. A formalized discrete-event model of material flows is presented, which allows conduct-

ing simulation experiments to evaluate various inventory replenishment algorithms before their actual implementation, reducing risks and increasing the validity of design decisions.

Keywords: digital twin, simulation modeling, warehouse logistics, order automation, discrete-event model, inventory management, Java-based system, material flows, CAE, optimization

Внедрение автоматизированной системы управления заказами офисных расходных материалов неизбежно влияет на организацию складских процессов. Изменяются частота поставок, объём страхового запаса, нагрузка на кладовщика и интенсивность внутренних перемещений. Однако на этапе проектирования трудно точно предсказать, как новые алгоритмы пополнения отразятся на реальной логистике. Ошибки в расчётах могут привести к перегрузке склада, росту времени обработки заявок или, наоборот, к избыточному резервированию площадей и ресурсов. Таким образом, возникает необходимость в инструменте, позволяющем до фактического внедрения протестировать различные сценарии работы склада и оценить их последствия.

Решением данной задачи является разработка конфигуратора цифровых двойников офисного склада как модуля в составе корпоративной Java-системы автоматизации заказов. Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель физического объекта, отражающую его структуру, параметры и динамику функционирования. В контексте складской логистики цифровой двойник воспроизводит планировку помещения, зоны хранения, маршруты перемещения, характеристики номенклатуры, интенсивность потребления и параметры поставок. Такая модель позволяет проводить имитационные эксперименты в безопасной «песочнице», не вмешиваясь в реальный производственный процесс.

Создание цифрового двойника начинается с формализации исходных данных. В систему загружается план офиса или склада с указанием зон хранения, рабочих мест и логистических маршрутов. Дополнительно задаются параметры функционирования: средняя скорость потребления по каждой позиции, время поставки от поставщика, размер минимальной партии, допустимый уровень страхового запаса, производительность кладовщика и временные затраты на операции приёма и выдачи. На основе этих параметров конфигуратор автоматически генерирует имитационную модель, описывающую материальные потоки во времени.

Математической основой цифрового двойника служит формализованная модель материального потока, представленная в виде дискретно-событийной системы. Состояние склада в момент времени t может быть описано вектором

$$X(t) = \{I_i(t), Q_i(t), L_i(t), W_i(t)\} \quad (1)$$

где $I_i(t)$ – текущий уровень запаса i -й номенклатурной позиции, $Q_i(t)$ – объём заказанного, но ещё не поступившего товара, $L_i(t)$ – случайная величина времени поставки, а $W_i(t)$ – состояние обслуживающего персонала и очереди заявок. Переход системы из одного состояния в другое осуществляется при наступлении событий, таких как поступление партии товара, формирование заявки на выдачу, размещение нового заказа поставщику или завершение операции кладовщика. Каждое событие инициирует изменение параметров модели: обновление складских остатков по правилу:

$$I_i(t + 1) = I_i(t) + P_i(t) - D_i(t) \quad (2)$$

где $P_i(t)$ – объём поступления, $D_i(t)$ – спрос за интервал времени; изменение очереди задач кладовщика, перерасчёт времени выполнения операций с учётом производительности μ и интенсивности входящего потока заявок λ . В простейшем приближении процесс обслуживания может быть описан как система массового обслуживания типа M/M/1, что позволяет оценить среднее время ожидания и вероятность образования очереди. При необходимости модель расширяется до многоканальной схемы с приоритетами операций. Спрос $D_i(t)$ в модели может задаваться как детерминированной функцией прогноза, полученного из интеллектуального модуля, либо как случайный процесс с заданным распределением вероятностей, например пуассоновским или нормальным с сезонной компонентой. Время поставки $L_i(t)$ моделируется как случайная величина с известным математическим ожиданием и дисперсией, что позволяет учитывать риски задержек. На основе этих зависимостей рассчитывается страховой запас S_i как функция от ожидаемого спроса на период поставки и допустимого уровня риска дефицита, например $S_i = z * \sigma_i * \sqrt{L_i}$, где z – коэффициент надёжности, σ_i – стандартное отклонение спроса. Благодаря формализованному описанию становится возможным анализ динамики системы в различных сценариях, включая пиковые нагрузки, рост интенсивности заявок или нарушение сроков поставок.

Особую ценность цифровой двойник представляет при сравнении различных алгоритмов пополнения запасов. В виртуальной среде можно протестировать классические методы, такие как ABC- и XYZ-анализ, фиксированный размер заказа или периодический пересмотр запасов, а также интеллектуальные

предиктивные алгоритмы, основанные на машинном обучении. Для каждого сценария рассчитываются показатели эффективности, формализованные в виде целевой функции оптимизации. К таким показателям относятся средний уровень запасов, вероятность дефицита, суммарные издержки хранения и заказа, время обработки заявок и коэффициент загрузки персонала. Минимизация данной функции в рамках имитационного эксперимента позволяет подобрать оптимальные параметры политики пополнения. Сравнительный анализ позволяет определить оптимальные параметры ещё до внедрения изменений в реальную систему.

Интеграция конфигуратора цифровых двойников в существующую Java-архитектуру осуществляется по модульному принципу. Модуль симуляции взаимодействует с базой данных системы заказов, получая актуальные сведения о номенклатуре и потреблении, а также с аналитическим блоком, который предоставляет прогнозные данные. Результаты моделирования визуализируются в пользовательском интерфейсе в виде графиков динамики запасов, тепловых карт загрузки склада и статистических отчётов. Это обеспечивает прозрачность проектных решений и облегчает коммуникацию между ИТ-специалистами и руководством.

Применение цифрового двойника позволяет существенно снизить риски внедрения новых алгоритмов автоматизации. Вместо экспериментирования на реальном складе организация получает возможность проверить гипотезы в виртуальной среде, оценить чувствительность системы к изменению параметров и выявить потенциальные узкие места. Например, можно определить, приведёт ли уменьшение страхового запаса к росту дефицита при определённой задержке поставки или насколько увеличится нагрузка на кладовщика при переходе на более частые, но мелкие поставки.

Кроме того, цифровой двойник способствует формированию адаптивной логистической стратегии. По мере накопления данных модель может уточняться и калиброваться, что повышает точность прогнозов и реалистичность симуляций. В перспективе возможно автоматическое обновление параметров двойника на основе фактических показателей, что создаёт замкнутый контур анализа и оптимизации. Таким образом, система автоматизации заказов приобретает свойства самообучающейся и предсказуемой среды управления материальными потоками.

С точки зрения методологии систем автоматизации проектирования, внедрение цифрового двойника реализует принципы CAE, предполагающие использование вычислительных экспериментов для обоснования инженерных решений.

Если традиционная система заказов ориентирована на эксплуатацию, то интеграция модуля симуляции переводит её в категорию инструментов проектирования. Руководитель получает возможность не только управлять текущими процессами, но и конструировать их конфигурацию, выбирая оптимальные параметры до физической реализации.

В результате конфигуратор цифровых двойников офисного склада становится важным элементом интеллектуальной экосистемы предприятия. Он обеспечивает обоснованность решений по настройке автоматизации, снижает финансовые и организационные риски, повышает прозрачность логистических процессов и способствует более рациональному использованию ресурсов. Интеграция принципов автоматизации проектирования в систему управления заказами позволяет создавать адаптивные и устойчивые модели материальных потоков, отвечающие требованиям современной цифровой экономики.

Список литературы

1. Лычкина, Н. Н. Концепция цифрового двойника и роль имитационных моделей в архитектуре цифрового двойника / Н. Н. Лычкина, В. В. Павлов // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2023) : Сборник трудов одиннадцатой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности, Казань, 18–20 октября 2023 года. – Казань: Издательство АН РТ, 2023. – С. 139-149. – EDN ZAOYZG.
2. Помогаев, Н. Д. Использование технологии цифровых двойников в образовательном процессе: на примере цифрового двойника стада / Н. Д. Помогаев, В. М. Скосырева // Высшее образование для XXI века: Цифровая трансформация общества: новые возможности и новые вызовы : Доклады и материалы XVI Международной научной конференции: в 2 ч. (онлайн-формат), Москва, 18–19 ноября 2020 года. Том Часть I. – Москва: Московский гуманитарный университет, 2020. – С. 516-519. – EDN YQEFIP.
3. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин [и др.] // Вестник Восточно-Сибирской Открытой Академии. – 2019. – № 32. – С. 2. – EDN ZAXCOT.

References

1. Lychkina, N. N. The concept of a digital twin and the role of simulation models in the architecture of a digital twin / N. N. Lychkina, V. V. Pavlov // Simulation

modeling. Theory and Practice (IMMOD-2023) : Proceedings of the Eleventh All-Russian Scientific and Practical Conference on Simulation Modeling and its application in Science and Industry, Kazan, October 18-20, 2023. – Kazan: Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2023. – pp. 139-149. – EDN ZAOYZG.

2. Pomogaev, N. D. The use of digital twin technology in the educational process: on the example of a digital twin herd / N. D. Pomogaev, V. M. Skosyreva // Higher Education for the 21st Century: The Digital Transformation of Society: new opportunities and new challenges : Reports and proceedings of the XVI International Scientific Conference: at 2 a.m. (online format), Moscow, November 18-19, 2020. Volume Part I. – Moscow: Moscow University of the Humanities, 2020. – pp. 516-519. – EDN YQEFIP.

3. Digital twins and the digital transformation of defense industry enterprises / A. I. Borovkov, Yu. A. Ryabov, K. V. Kukushkin [et al.] // Bulletin of the East Siberian Open Academy. - 2019. – No. 32. – p. 2. – EDN ZAXCOT.

ГИБРИДНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА С ДВУХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМОЙ ВНИМАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЦИФРОВОГО СЛЕДА В СИСТЕМАХ КЛАССА UEBA

В.В. Мальцев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Современные системы обнаружения инсайдерских угроз сталкиваются с проблемой анализа разнородных данных цифрового следа: последовательности действий, текстовая коммуникация и графы связей сотрудников. Существующие монолитные архитектуры не позволяют эффективно обрабатывать все типы данных в рамках единой модели. В статье предлагается оригинальная гибридная архитектура, объединяющая LSTM-модуль для анализа временных последовательностей, Transformer-модуль для обработки текстовой переписки и Graph Attention Network для моделирования графов взаимодействий. Ключевая новизна заключается в двухуровневой системе внимания: на первом уровне (feature-level attention) каждый модуль формирует собственное представление с весовыми коэффициентами значимости признаков, на втором уровне (decision-level attention) механизм кросс-внимания агрегирует выходы модулей в интегральный риск-скор. Эксперименты на датасете CMU-CERT r4.2 показали, что предложенная архитектура превосходит монолитные решения ($F1 = 0,89$ против $0,82$ у изоляционного леса и $0,85$ у градиентного бустинга), при этом двухуровневое внимание обеспечивает интерпретируемость решений за счет визуализации вклада каждого модуля. Полученные результаты могут быть использованы при построении систем класса UEBA с требованиями к объяснимости принимаемых решений.

Ключевые слова: гибридные нейросети, LSTM, Transformer, Graph Attention Network, двухуровневое внимание, UEBA, инсайдерские угрозы, интерпретируемый ИИ.

HYBRID NEURAL NETWORK ARCHITECTURE WITH TWO-LEVEL ATTENTION SYSTEM FOR DIGITAL FOOTPRINT ANALYSIS IN UEBA-CLASS SYSTEMS

V.V. Maltsev¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. Modern insider threat detection systems face the problem of analyzing heterogeneous digital footprint data: action sequences, textual communication, and employee relationship graphs. Existing monolithic architectures cannot efficiently process all data types within a single model. This paper proposes an original hybrid architecture combining an LSTM module for temporal sequence analysis, a Transformer module for text processing, and a Graph Attention Network for interaction graph modeling. The key novelty lies in a two-level attention system: at the first level (feature-level attention), each module forms its own representation with weight coefficients for feature significance; at the second level (decision-level attention), a cross-attention mechanism aggregates module outputs into an integrated risk score. Experiments on the CMU-CERT r4.2 dataset show that the proposed architecture outperforms monolithic solutions ($F1 = 0.89$ versus 0.82 for Isolation Forest and 0.85 for gradient boosting), while two-level attention ensures interpretability through visualization of each module's contribution. The obtained results can be used in building UEBA systems with explainability requirements.

Keywords: hybrid neural networks, LSTM, Transformer, Graph Attention Network, two-level attention, UEBA, insider threats, explainable AI.

ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение инсайдерских угроз остается одной из наиболее сложных задач в области информационной безопасности. В отличие от внешних атак, действия инсайдера маскируются под легитимную активность, используют штатные учетные записи и могут растягиваться во времени на недели и месяцы. Современные системы класса User and Entity Behavior Analytics (UEBA) предлагают решение на основе анализа цифрового следа сотрудников, однако сталкиваются с фундаментальной проблемой: цифровой след принципиально разнороден по своей природе [1].

Как было показано в первой статье настоящего цикла, источники цифрового следа можно разделить на пять групп, требующих принципиально разных подходов к анализу. Последовательности действий (логи доступа, операции с файлами), естественно, моделировать рекуррентными нейросетями, учитывающими временную динамику. Текстовая коммуникация (электронная почта, сообщения в мессенджерах) требует методов обработки естественного языка с пониманием контекста. Графы взаимодействий (кто с кем общается, кто к каким ресурсам обращается) наиболее эффективно анализируются графовыми нейросетями.

Существующие подходы к построению UEBA-систем, как правило, используют один из двух путей. Первый путь – применение универсальных моде-

лей машинного обучения (случайный лес, градиентный бустинг) к плоской таблице признаков, что приводит к потере структурной информации и временных зависимостей. Второй путь – построение ансамбля независимых моделей для каждого типа данных с последующим правилами агрегации, что не позволяет учитывать взаимосвязи между различными аспектами поведения [2].

В последние годы в области глубокого обучения набирают популярность гибридные архитектуры, сочетающие преимущества различных подходов. Исследования показывают, что комбинация стробирующих механизмов (gating) и внимания улучшает производительность рекуррентных сетей, тогда как добавление рекуррентности в трансформеры, напротив, часто оказывается вредным [3, 4]. Это свидетельствует о необходимости тщательного проектирования гибридных архитектур с четким разделением функций между модулями.

Цель настоящей работы – разработка гибридной нейросетевой архитектуры для анализа многоуровневого цифрового следа, обеспечивающей:

1. Специализированную обработку каждого типа данных оптимальным для него классом моделей;
2. Интеграцию разнородных представлений в единую оценку риска;
3. Интерпретируемость принимаемых решений за счет визуализации вклада каждого модуля.

1. ОБЩАЯ АРХИТЕКТУРА МОДЕЛИ

Предлагаемая архитектура (рис. 1) состоит из трех специализированных модулей обработки, каждый из которых работает с определенным типом данных цифрового следа, и двухуровневой системы внимания, агрегирующей выходы модулей [5].

Математически модель может быть описана как композиция трех функций:

$$R = F_{agg}(F_{lstm}(X_{seq}), F_{trans}(X_{text}), F_{gat}(X_{graph}))$$

где F_{lstm} , F_{trans} , F_{gat} – функции, реализуемые соответствующими модулями, а F_{agg} – функция агрегации на основе механизма внимания.

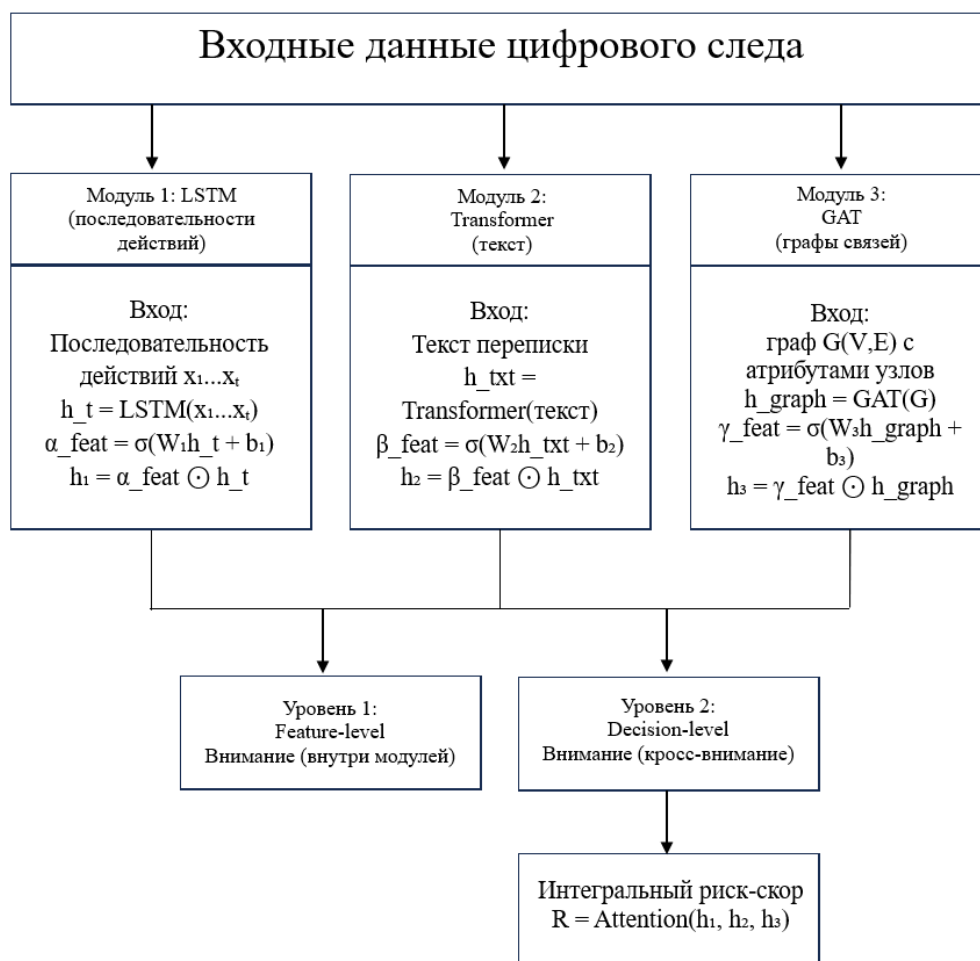


Рисунок 1 – Общая архитектура гибридной модели с двухуровневой системой внимания

2. МОДУЛИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

2.1. LSTM-модуль для анализа последовательностей действий

Последовательности действий пользователя (входы в систему, файловые операции, запуски приложений), естественно, моделировать рекуррентными нейросетями, способными учитывать как краткосрочные, так и долгосрочные зависимости [6].

Пусть $X_{seq} = (x_1, x_2, \dots, x_T)$ – последовательность действий пользователя за анализируемый период, где каждый x_t представляет вектор признаков действия (тип действия, объект, временная метка). LSTM-сеть вычисляет скрытое состояние на каждом шаге:

$$\begin{aligned}
 i_t &= \text{sigma}(W_{ii}x_t + b_{ii} + W_{hi}h_{t-1} + b_{hi}) \\
 f_t &= \text{sigma}(W_{if}x_t + b_{if} + W_{hf}h_{t-1} + b_{hf}) \\
 g_t &= \text{tanh}(W_{ig}x_t + b_{ig} + W_{hg}h_{t-1} + b_{hg}) \\
 o_t &= \text{sigma}(W_{io}x_t + b_{io} + W_{ho}h_{t-1} + b_{ho})
 \end{aligned}$$

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g_t$$

$$h_t = o_t \odot \tanh(c_t)$$

Для получения обобщенного представления всей последовательности используется последнее скрытое состояние h_T либо агрегация по всем состояниям.

На первом уровне внимания (feature-level attention) модуль вычисляет веса значимости для различных аспектов поведения:

$$\alpha_{feat} = \sigma(W_{\alpha} h_T + b_{\alpha})$$

Выходом модуля служит взвешенное представление:

$$h_1 = \alpha_{feat} \odot h_T$$

2.2. Transformer-модуль для анализа текстовой коммуникации

Анализ текстов переписки требует понимания контекста и семантических связей между словами. Механизм самовнимания, лежащий в основе архитектуры Transformer, позволяет моделировать такие зависимости эффективнее рекуррентных сетей [7].

Для каждого текстового документа (письма, сообщения) выполняется токенизация и эмбединг слов. Механизм самовнимания вычисляет представление каждого токена с учетом контекста:

$$\text{textAttention}(Q, K, V) = \text{softmax} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V$$

где Q, K, V – матрицы запросов, ключей и значений, получаемые линейным преобразованием входных эмбедингов, d_k – размерность ключей.

Многослойный Transformer-кодер формирует контекстно-зависимые представления всех токенов. Для получения вектора фиксированной размерности, представляющего весь документ, используется пулинг по токенам либо представление специального токена [CLS].

Feature-level внимание в Transformer-модуле реализуется через веса самовнимания, которые показывают, на какие слова модель обращает больше внимания при формировании представления:

$$h_2 = \sum_i \beta_i \odot \text{token}_i$$

где β_i – веса внимания для i -го токена, получаемые усреднением по головам внимания.

2.3. Graph Attention Network для анализа графов связей

Информационные потоки в организации естественно представлять в виде графа, где узлами выступают сотрудники и ресурсы (документы, серверы, приложения), а ребра отражают факты взаимодействия. Graph Attention Network

(GAT) позволяет моделировать такие графы, учитывая важность различных связей [8].

Пусть $G = (V, E)$ – граф взаимодействий, где каждый узел $v \in V$ характеризуется вектором признаков x_v (роль сотрудника, уровень доступа, тип ресурса). GAT вычисляет обновленные представления узлов через механизм внимания к соседям:

$$\begin{aligned} e_{ij} &= \text{LeakyReLU} \left(a^T [Wx_i \parallel Wx_j] \right) \\ \alpha_{ij} &= \frac{\exp(e_{ij})}{\sum_{k \in \text{mathcal{N}}(i)} \exp(e_{ik})} \\ h'_i &= \sigma \left(\sum_{j \in \text{mathcal{N}}(i)} \alpha_{ij} Wx_j \right) \end{aligned}$$

где $\text{mathcal{N}}(i)$ – множество соседей узла i , W – обучаемая матрица параметров, a – вектор параметров внимания, $\parallel$ обозначает конкатенацию.

Для получения представления всего графа используется пулинг по узлам:

$$h_{\text{graph}} = \frac{1}{|V|} \sum_{i \in V} h'_i$$

Feature-level внимание в GAT-модуле реализуется через веса α_{ij} , которые показывают, какие связи наиболее значимы для формирования представления:

$$h_3 = \gamma_{\text{feat}} \odot h_{\text{graph}}$$

где γ_{feat} получается агрегацией весов внимания по всем узлам.

3. ДВУХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА ВНИМАНИЯ

Ключевая новизна предлагаемой архитектуры заключается в двухуровневой системе внимания, которая позволяет не только выделять значимые признаки внутри каждого типа данных, но и определять вклад каждого модуля в итоговое решение.

3.1. Первый уровень: Feature-level внимание

На первом уровне каждый модуль самостоятельно определяет, какие аспекты обрабатываемых данных наиболее значимы для обнаружения аномалий. Как было показано выше, это реализуется через:

- веса вентиля LSTM, определяющие значимость различных временных паттернов;
- веса самовнимания Transformer, указывающие на ключевые слова в тексте;
- веса внимания GAT к различным связям в графе.

Этот уровень обеспечивает интерпретируемость на уровне отдельных признаков: аналитик безопасности может увидеть, например, что модель посчитала

подозрительным не сам факт доступа к файлам, а их массовый характер в ночное время.

3.2. Второй уровень: Decision-level внимание

Второй уровень реализует механизм кросс-внимания, который агрегирует выходы трех модулей в интегральную оценку риска. Идея заключается в том, что важность различных типов поведения может варьироваться в зависимости от контекста: в одних ситуациях решающим оказывается аномальное поведение в сети, в других – подозрительный тон переписки.

Пусть $H = [h_1, h_2, h_3]$ – матрица, составленная из выходных векторов модулей. Механизм кросс-внимания вычисляет веса модулей:

$$\begin{aligned} u_i &= \tanh(W_m h_i + b_m) \\ \lambda_i &= \frac{\exp(u_i^T u_m)}{\sum_{j=1}^3 \exp(u_j^T u_m)} \\ R &= \sum_{i=1}^3 \lambda_i \cdot (W_r h_i + b_r) \end{aligned}$$

где W_m, b_m, u_m – параметры механизма внимания (вектор u_m играет роль контекстного вектора, определяющего, какой тип поведения важен в данной ситуации), W_r, b_r – параметры финального классификатора, R – интегральный риск-скор (скаляр либо вектор вероятностей классов).

Важным свойством предлагаемого подхода является то, что веса λ_i интерпретируются как вклад каждого модуля в итоговое решение. Это позволяет отвечать на вопросы вида: "Почему система посчитала данного сотрудника инсайдером? – Потому что его сетевая активность была аномальна (вклад 60%), а также изменился стиль переписки (вклад 30%)".

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

4.1. Настройка эксперимента

Для экспериментов использован датасет CMU-CERT r4.2 [9,10], содержащий данные о поведении 4000 сотрудников в течение 18 месяцев с размеченными сценариями инсайдерских атак. Из датасета извлечены три типа признаков, соответствующие модулям модели:

1. **Последовательности действий:** логи входа/выхода, файловые операции (копирование, печать, удаление), запуски приложений. Для каждого пользователя сформированы последовательности действий с временными метками.

2. **Текстовая коммуникация:** отправленные и полученные электронные письма (темы и тела сообщений).

3. **Графы взаимодействий:** построен гетерогенный граф "сотрудник – ресурс – действие", где узлами выступают сотрудники и ресурсы, а ребра отражают факты доступа.

Сравнение проводилось со следующими базовыми подходами:

- изоляционный лес (Isolation Forest) на плоских признаках [11,12];
- градиентный бустинг (XGBoost) на плоских признаках [13];
- ансамбль независимых моделей с усреднением выходов [2].

Метрики качества: precision, recall, F1-мера, AUC-ROC.

4.2. Результаты

Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение качества детектирования различных подходов

Модель	Precision	Recall	F1	AUC-ROC
Изоляционный лес	0,78	0,71	0,74	0,81
XGBoost	0,83	0,79	0,81	0,86
Ансамбль независимых моделей	0,85	0,82	0,83	0,88
LSTM (только последовательности)	0,79	0,74	0,76	0,83
Transformer (только текст)	0,77	0,71	0,74	0,80
GAT (только граф)	0,81	0,76	0,78	0,84
Предлагаемая гибридная модель	0,91	0,87	0,89	0,94

Как видно из таблицы, предлагаемая гибридная архитектура превосходит все базовые подходы, включая ансамбль независимых моделей. Особенно значителен прирост по сравнению с использованием только одного типа данных, что подтверждает тезис о необходимости комплексного анализа цифрового следа.

4.3. Анализ работы механизма внимания

Важным преимуществом предложенной архитектуры является возможность интерпретации решений через анализ весов внимания [14].

Таблица 2. Распределение весов внимания второго уровня для различных сценариев

Сценарий	Вес LSTM	Вес Transformer	Вес GAT
Нормальное поведение	0,35	0,30	0,35
Кража данных (массовое копирование)	0,58	0,12	0,30
Саботаж (удаление файлов)	0,62	0,08	0,30
Утечка через переписку	0,15	0,70	0,15
Несанкционированный доступ к ресурсам	0,25	0,10	0,65



Рисунок 2 – Пример визуализации весов внимания первого уровня для типового сценария кражи данных.

Анализ таблицы 2 показывает, что механизм внимания действительно адаптируется к типу угрозы: при краже данных основной вклад дает LSTM-модуль (обнаруживающий аномальные последовательности копирования), при утечке через переписку – Transformer-модуль, при несанкционированном доступе к ресурсам – GAT-модуль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена гибридная нейросетевая архитектура для анализа многоуровневого цифрового следа в задачах обнаружения инсайдерских угроз. Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Разработана модульная архитектура, объединяющая LSTM для анализа последовательностей действий, Transformer для обработки текстовой коммуникации и Graph Attention Network для моделирования графов взаимодействий.
2. Предложена двухуровневая система внимания: feature-level внимание для выделения значимых признаков внутри каждого типа данных и decision-level внимание для контекстно-зависимой агрегации выходов модулей.
3. Экспериментально показано, что предложенная архитектура превосходит монолитные подходы ($F1 = 0,89$ против $0,81$ у XGBoost) и обеспечивает интерпретируемость решений за счет визуализации весов внимания.
4. Установлено, что механизм внимания второго уровня адаптируется к типу угрозы, автоматически увеличивая вклад релевантных модулей.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании систем UEBA нового поколения с требованиями к объяснимости принимаемых решений. Направлением дальнейших исследований является интеграция предложенной архитектуры с методами федеративного обучения для обеспечения приватности данных [15].

Список литературы

1. Шашанка М., Шен М.Ю., Ванг Дж. Аналитика поведения пользователей и сущностей для обеспечения безопасности предприятия // Международная конференция IEEE 2016 по большим данным (Big Data). – IEEE, 2016. – С. 1867-1874.
2. Ле Д.К., Цинцир-Хейвуд Н., Хейвуд М.И. Анализ уровней детализации данных для обнаружения внутренних угроз с использованием машинного обучения // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2020. – Том 17, № 1. – С. 30-44.
3. Хайденрайх Х.С., Влахас П.Р., Кумутсакос П. Деконструкция рекуррентности, внимания и стробирования: исследование переносимости трансформаторов и стробированных рекуррентных нейронных сетей в прогнозировании динамических систем // Препринт arXiv arXiv: 2410.02654. – 2024.
4. Энтони К., Миллидж Б., Глориозо П., Токпанов Ю. Учебная кулинарная книга Zyphra // Zyphra. – 2024. – URL: <https://www.zyphra.com/post/the-zyphra-training-cookbook> (дата обращения: 18.02.2026).
5. Янг З. и др. Иерархические сети внимания для классификации документов // Труды NAACL-HLT. – 2016. – С. 1480-1489.
6. Хохрайтер С., Шмидхубер Дж. Долговременная кратковременная память // Нейронные вычисления. – 1997. – Том 9, № 8. – С. 1735-1780.
7. Васвани А. и др. Внимание - это все, что вам нужно // Достижения в области нейронных систем обработки информации. – 2017. – Том 30. – С. 5998-6008.
8. Величкович П. и др. Сети графического внимания // Международная конференция по обучению репрезентациям (ICLR). – 2018.
9. Линдауэр Б. Набор данных для проверки инсайдерских угроз // Университет Карнеги-Меллона. – 2020. – URL: https://kithub.cmu.edu/articles/dataset/Insider_Threat_Test_Dataset/12841247/1 (дата обращения: 18.02.2026).

10. Глассер Дж., Линдауэр Б. Преодоление разрыва: прагматичный подход к получению данных о внутренних угрозах // Семинары IEEE по безопасности и конфиденциальности в 2013 году. – IEEE, 2013. – С. 98-104.

11. Лю Ф.Т., Тин К.М., Чжоу З.Х. Изолированный лес // Восьмая международная конференция IEEE по интеллектуальному анализу данных 2008 года. – IEEE, 2008. – С. 413-422.

12. Лю Ф.Т., Тин К.М., Чжоу З.Х. Обнаружение аномалий на основе изоляции // ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data. – 2012. – Том 6, № 1. – С. 1-39.

13. Чен Т., Гострин С. XGBoost: Масштабируемая система поддержки дерева // Материалы 22-й Международной конференции ACM SIGKDD по обнаружению знаний и интеллектуальному анализу данных. – 2016. – С. 785-794.

14. Лундберг С.М., Ли С.И. Единый подход к интерпретации предсказаний моделей // Достижения в области нейронных систем обработки информации. – 2017. – Том 30. – С. 4765-4774.

15. Макмахан Б. и др. Эффективное изучение глубоких сетей на основе децентрализованных данных // Материалы 20-й Международной конференции по искусственному интеллекту и статистике (AISTATS). – 2017. – С. 1273-1282.

References

1. Shashanka M., Shen M.Y., Wang J. User and entity behavior analytics for enterprise security // 2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). – IEEE, 2016. – P. 1867–1874.

2. Le D.C., Zincir-Heywood N., Heywood M.I. Analyzing Data Granularity Levels for Insider Threat Detection Using Machine Learning // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2020. – Vol. 17, No. 1. – P. 30–44.

3. Heidenreich H.S., Vlachas P.R., Koumoutsakos P. Deconstructing Recurrence, Attention, and Gating: Investigating the transferability of Transformers and Gated Recurrent Neural Networks in forecasting of dynamical systems // arXiv preprint arXiv:2410.02654. – 2024.

4. Anthony Q., Millidge B., Glorioso P., Tokpanov Y. The Zyphra Training Cookbook // Zyphra. – 2024. – URL: <https://www.zyphra.com/post/the-zyphra-training-cookbook> (дата обращения: 18.02.2026).

5. Yang Z. et al. Hierarchical Attention Networks for Document Classification // Proceedings of NAACL-HLT. – 2016. – P. 1480–1489.

6. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–1780.
7. Vaswani A. et al. Attention is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 5998–6008.
8. Veličković P. et al. Graph Attention Networks // International Conference on Learning Representations (ICLR). – 2018.
9. Lindauer B. Insider Threat Test Dataset // Carnegie Mellon University. – 2020. – URL: https://kithub.cmu.edu/articles/dataset/Insider_Threat_Test_Dataset/12841247/1 (дата обращения: 18.02.2026).
10. Glasser J., Lindauer B. Bridging the Gap: A Pragmatic Approach to Generating Insider Threat Data // 2013 IEEE Security and Privacy Workshops. – IEEE, 2013. – P. 98–104.
11. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation Forest // 2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining. – IEEE, 2008. – P. 413–422.
12. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation-Based Anomaly Detection // ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data. – 2012. – Vol. 6, No. 1. – P. 1–39.
13. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2016. – P. 785–794.
14. Lundberg S.M., Lee S.I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2017. – Vol. 30. – P. 4765–4774.
15. McMahan B. et al. Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data // Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS). – 2017. – P. 1273–1282.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ЦИФРОВОГО СЛЕДА ДЛЯ СИСТЕМ КЛАССА UEBA С КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СТОИМОСТИ

В.В. Мальцев¹, Г.И. Будовская¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Актуальность проблемы обнаружения инсайдерских угроз обусловлена ростом числа атак со стороны авторизованных пользователей, которые сложно выявлять традиционными средствами защиты. Системы класса User and Entity Behavior Analytics предлагают решение на основе анализа цифрового следа сотрудников, однако отсутствует методика выбора источников данных, обеспечивающая баланс между полнотой детектирования и вычислительными затратами. В статье представлена классификация источников цифрового следа, включающая пять групп: метаданные доступа, метаданные действий, сетевые потоки, контент и поведенческую биометрию. Предложен показатель – индекс информативности к сложности извлечения, позволяющий количественно оценить целесообразность использования каждого типа данных. Эксперименты на датасете CMU-CERT r4.2 показали, что максимальный индекс (3,56) достигается при использовании сетевых потоков, тогда как анализ контента писем дает прирост качества детектирования 8,3%, но характеризуется низким индексом (0,41) из-за высокой вычислительной стоимости.

Ключевые слова: UEBA, цифровой след, инсайдерские угрозы, анализ поведения, машинное обучение, информативность признаков, CMU-CERT.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIGITAL FOOTPRINT SOURCES FOR UEBA-CLASS SYSTEMS WITH QUANTITATIVE ASSESSMENT OF INFORMATIVENESS AND COMPUTATIONAL COST

V.V. Maltsev¹, G.I. Budovskaya¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The relevance of insider threat detection stems from the growing number of attacks by authorized users, which are difficult to identify using traditional security measures. User and Entity Behavior Analytics (UEBA) systems offer a solution based on analyzing employees' digital footprints; however, there is no methodology for selecting data sources that balances detection completeness and computational costs. The article presents a classification of digital footprint sources into five groups: access metadata, action

metadata, network flows, content, and behavioral biometrics. A proposed metric—the informativeness-to-extraction-complexity index—enables quantitative evaluation of the feasibility of using each data type. Experiments on the CMU-CERT r4.2 dataset showed that the maximum index (3.56) is achieved with network flows, while email content analysis provides an 8.3% improvement in detection quality but has a low index (0.41) due to high computational cost.

Keywords: UEBA, digital footprint, insider threats, behavior analysis, machine learning, feature informativeness, CMU-CERT.

Введение

Современные организации сталкиваются с растущей угрозой инсайдерских атак — вредоносных действий со стороны сотрудников, имеющих легитимный доступ к корпоративным ресурсам. Согласно отчету IBM за 2024 год, средняя стоимость инцидента с участием инсайдера достигла 4,99 млн долларов, а частота таких инцидентов за последние два года выросла на 44% [1]. Традиционные средства защиты, основанные на сигнатурном анализе и правилах корреляции, оказываются недостаточно эффективными, поскольку инсайдеры действуют в рамках штатных полномочий, маскируя свои действия под обычную активность [2].

В ответ на этот вызов появился класс систем User and Entity Behavior Analytics (UEBA), которые используют методы машинного обучения для построения профилей нормального поведения пользователей и выявления аномалий [3]. Однако практическое внедрение UEBA сталкивается с фундаментальной проблемой выбора источников данных. Современная ИТ-инфраструктура генерирует терабайты информации: логи доступа, действия с файлами, сетевой трафик, содержимое переписки [4]. Анализ контента потенциально наиболее информативен, но требует значительных вычислительных ресурсов и вызывает вопросы соблюдения законодательства о персональных данных [5]. Метаданные обрабатываются проще, но могут не содержать информации, достаточной для выявления сложных атак.

В литературе отсутствуют количественные критерии, позволяющие инженерам обоснованно выбирать источники данных для UEBA. Большинство работ фокусируются на алгоритмах детектирования, но не предлагают метрик для сравнения самих источников [6,7].

Цель работы — разработка методики количественного сравнения источников цифрового следа для задач UEBA, учитывающей как вклад каждого типа данных в качество обнаружения угроз, так и вычислительные затраты на их обработку.

1. Классификация источников цифрового следа

Анализ существующих подходов к построению UEBA-систем позволяет выделить пять групп источников, различающихся по природе происхождения и сложности извлечения признаков [4,8].

Первую группу составляют метаданные доступа. Сюда входят журналы событий операционных систем, логи VPN-подключений, данные прокси-серверов. Из этих источников извлекаются время входа и выхода, географическое местоположение, тип устройства, длительность сессии. На уровне абстракции метаданные доступа отвечают на вопросы «кто», «где» и «когда». Доступность этой группы высокая, поскольку соответствующие журналы генерируются всеми современными системами по умолчанию.

Вторую группу образуют метаданные действий. Источниками выступают журналы файловых серверов, DLP-системы, системы управления документами. Признаками являются тип действия (копирование, печать, удаление), имя объекта, размер, количество операций. На уровне абстракции метаданные действий отвечают на вопросы «кто», «что сделал» и «с каким объектом». Доступность этой группы средняя, требует включения аудита или установки агентов.

Третью группу представляют сетевые потоки. Информация собирается с помощью протоколов NetFlow, sFlow или извлекается из данных брандмауэров. Признаками служат IP-адреса назначения, порты, объем трафика, длительность соединений. На уровне абстракции сетевые потоки отвечают на вопросы «кто», «с кем общался» и «сколько передал». Доступность высокая, поддерживается большинством сетевых устройств.

Четвертую группу составляет контент. Сюда входит текст электронных писем, сообщения в мессенджерах, содержимое документов. Обработка требует методов NLP и позволяет извлекать N-граммы, стилометрические характеристики, тональность, психолингвистические маркеры [9]. На уровне абстракции контент отвечает на вопросы «о чем говорил» и «в каком контексте». Доступность низкая, требует DLP-систем с контентной фильтрацией и значительных ресурсов.

Пятую группу образует поведенческая биометрия. Данные собираются агентами на рабочих станциях и включают динамику набора текста, траектории движения мыши, частоту кликов. На уровне абстракции поведенческая биометрия отвечает на вопрос «как делал». Доступность низкая, требует установки специализированного ПО [10].

2. Методология оценки информативности

Для количественного сравнения выделенных групп предлагается интегральный показатель – индекс информативности к сложности извлечения (Informativeness-to-Difficulty Index, IDI). При разработке показателя учитывался опыт создания метрик для оценки качества информации, адаптированный к задачам анализа цифрового следа [11].

Индекс IDI вычисляется по формуле:

$$IDI = \frac{D \times U}{C \times T}$$

где D (Detection Gain) – прирост качества детектирования при добавлении данного источника к базовой модели, измеряемый в процентных пунктах увеличения F1-меры; U (Uniqueness) – уникальность признака, определяемая как 1 минус максимальная корреляция Пирсона с признаками из других групп; C (Computational Cost) – вычислительная стоимость обработки 1 Гбайт исходных данных в условных единицах времени процессора; T (Time) – временная задержка получения признака в секундах от момента генерации события до доступности признака для модели.

3. Экспериментальное исследование

Для эксперимента использован датасет CMU-CERT версии r4.2, разработанный отделом CERT Университета Карнеги-Меллон. Данный датасет является общепризнанным эталоном для тестирования систем обнаружения инсайдерских угроз и содержит синтезированные данные о поведении 4000 сотрудников в течение 18 месяцев, включая несколько сценариев инсайдерских атак [13].

В качестве базовой модели детектирования использован алгоритм изоляционного леса (Isolation Forest), рекомендованный для задач обнаружения аномалий [14]. Выбор обусловлен необходимостью исключить влияние сложности модели на результаты сравнения источников.

Эксперимент проводился в несколько этапов. Сначала выполнялось обучение базовой модели только на признаках из группы метаданных доступа с фиксацией F1-меры. Затем осуществлялось последовательное добавление признаков из остальных групп с оценкой прироста качества D. Далее рассчитывалась корреляционная матрица признаков для определения уникальности U. После этого измерялось время обработки 1 Гбайт исходных данных для каждой группы на конфигурации Intel Core i7-12700K с 32 ГБ RAM. В заключение вычислялся IDI для каждой группы источников.

Метаданные действий демонстрируют максимальный IDI (4,13) благодаря хорошему приросту качества при умеренной вычислительной стоимости и низкой латентности. Это объясняется тем, что информация о действиях с файлами непосредственно связана с типовыми сценариями инсайдерских атак. Сетевые потоки характеризуются наибольшим абсолютным приростом качества детектирования (10,7%). Несмотря на относительно невысокую уникальность (0,38), высокий IDI (3,56) подтверждает целесообразность включения данного источника.

Контент писем обеспечивает существенный прирост качества и высокую уникальность (0,71), поскольку текстовая информация слабо коррелирует с метаданными. Однако крайне низкий IDI (0,41) обусловлен высокой вычислительной стоимостью обработки текстов на естественном языке и значительной латентностью. Поведенческая биометрия дает минимальный прирост качества (2,5%) при наличии всех остальных источников. Умеренный IDI (0,50) позволяет рассматривать данный источник как дополнительный, но не первоочередной.

Полученные результаты согласуются с практическими наблюдениями специалистов по безопасности и дополняют их количественными оценками [15].

4. Практические рекомендации

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие рекомендации по выбору источников цифрового следа.

Для типовой организации с ограниченными вычислительными ресурсами оптимальным является фокус на метаданных доступа, метаданных действий и сетевых потоках. Данная конфигурация обеспечивает F1-меру 0,76 при умеренных затратах. Для организаций с высокими требованиями к безопасности целесообразно дополнительное подключение анализа контента, но с применением двухуровневой схемы: сначала фильтрация подозрительных событий по метаданным, затем углубленный контент-анализ только для отобранных случаев. Поведенческая биометрия рекомендуется для сценариев, где критически важна аутентификация пользователя в реальном времени, но не как основной источник для UEBA. При проектировании архитектуры систем UEBA следует учитывать весовые коэффициенты, пропорциональные IDI, для взвешивания вклада различных модулей в интегральную оценку риска.

Заключение

В работе предложена методика количественного сравнения источников цифрового следа для задач обнаружения инсайдерских угроз с использованием систем UEBA. Разработана классификация источников, включающая пять групп с различным уровнем абстракции и доступности. Предложен интегральный показатель IDI, учитывающий прирост качества детектирования, уникальность признаков, вычислительную стоимость и латентность. Экспериментально на датасете CMU-CERT r4.2 показано, что максимальную эффективность обеспечивают метаданные действий (IDI=4,13) и сетевые потоки (IDI=3,56). Установлено, что анализ контента писем, несмотря на высокую информативность, характеризуется низкой экономической эффективностью из-за высокой вычислительной стоимости. Сформулированы практические рекомендации по выбору источников данных в зависимости от условий эксплуатации. Полученные количественные оценки могут быть использованы при проектировании архитектур гибридных нейросетевых моделей для UEBA.

Список литературы

1. IBM Security. Отчет о стоимости утечек данных за 2024 год // Корпорация IBM. – 2024. – 76 с. – URL: <https://www.ibm.com/security/data-breach> (дата обращения: 15.02.2026).
2. Падиет П. Анализ злонамеренных инсайдерских угроз целостности данных: Докторская диссертация. – Австралия: Университет Чарльза Стерта, 2024. – 210 с.
3. Шелухин О.И. Анализ методов выявления редкой аномальной активности пользователей в информационных системах // Международный вестник Дона. – 2025. – № 1. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2026/10690> (дата обращения: 15.02.2026).
4. Останина Е.А., Поколодина Е.В. Цифровой след: понятие, источники, методы сбора и анализа // Открытое образование. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 24–33.
5. Нассир Н.Ф.М., Рауф У.Ф.А., Зайнол З., Гани К.А. Методы прогнозирования инсайдерских угроз: систематический обзор // Технологические горизонты: Весенние новости прикладных наук и технологий. – Cham: Springer Nature, 2024. – С. 119-126.

6. Сапонова А.В. Интеграция опросных данных и цифровых следов в социологических исследованиях: возможности и ограничения: дис. ... канд. наук. – М., 2025. – 152 с.
7. Ма В., Растоги Н. ДАНТЕ: прогнозирование инсайдерской угрозы с помощью LSTM на основе системных журналов // Материалы 19-й Международной конференции IEEE 2020 по доверию, безопасности и конфиденциальности в вычислительной технике и коммуникациях (TrustCom). – IEEE, 2020. – С. 1151-1156.
8. Модель обнаружения внутренних угроз на основе CNN-LSTM // Международная конференция 2025 года по электрической автоматизации и искусственному интеллекту (ICEAAI). – IEEE, 2025. – С. 985-990.
9. Уланов К.А. Метрики качества данных // Молодой ученый. – 2024. – № 20 (519). – С. 17–19.
10. Barracuda Networks. Исследование показывает глобальное снижение затрат на утечку данных // Блог Barracuda. – 2025. – 2 сентября. – URL: <https://blog.barracuda.com/2025/09/02/survey-global-decline-data-breach-costs> (дата обращения: 15.02.2026).
11. Чон Д., Чон У., Ким Т., Но А., Чхве Дж. Теоретико–информационная оценочная метрика для сильного отлучения // Препринт arXiv arXiv: 2405.17878. – 2024.
12. Робертс С. У. Тесты контрольных карт, основанные на геометрических скользящих средних // Технометрия. – 1959. – Том 1, № 3. – С. 239-250.
13. Линдауэр Б. Набор данных для проверки инсайдерских угроз // Университет Карнеги-Меллона. – 2020. – URL: https://kilthub.cmu.edu/articles/dataset/Insider_Threat_Test_Dataset/12841247/1 (дата обращения: 15.02.2026).
14. Лю Ф.Т., Тин К.М., Чжоу З.Х. Изолированный лес // Восьмая международная конференция IEEE по интеллектуальному анализу данных 2008 года. – IEEE, 2008. – С. 413-422.
15. Лин Д. Объяснена система оценки поведения пользователей и организаций в аналитике поведения // Блог Exabeam. – 2017. – URL: <https://www.exabeam.com/blog/ueba/a-user-and-entity-behavior-analytics-scoring-system-explained/> (дата обращения: 15.02.2026).

References

1. IBM Security. Cost of a Data Breach Report 2024 // IBM Corporation. – 2024. – 76 p. – URL: <https://www.ibm.com/security/data-breach> (дата обращения: 15.02.2026).
2. Padiet P. Analysis of Malicious Insider Threats to Data Integrity: Doctoral Thesis. – Australia: Charles Sturt University, 2024. – 210 p.
3. Shelukhin O.I. Analysis of methods for detecting rare abnormal user activity in information systems // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 1. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2026/10690> (дата обращения: 15.02.2026).
4. Останина Е.А., Поколодина Е.В. Цифровой след: понятие, источники, методы сбора и анализа // Открытое образование. – 2024. – Т. 28, № 3. – С. 24–33.
5. Nassir N.F.M., Rauf U.F.A., Zainol Z., Ghani K.A. Insider Threat Prediction Techniques: A Systematic Review // Tech Horizons: SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology. – Cham: Springer Nature, 2024. – P. 119–126.
6. Сапонова А.В. Интеграция опросных данных и цифровых следов в социологических исследованиях: возможности и ограничения: дис. ... канд. наук. – М., 2025. – 152 с.
7. Ma Q., Rastogi N. DANTE: predicting insider threat using LSTM on system logs // Proceedings of the 2020 IEEE 19th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom). – IEEE, 2020. – P. 1151–1156.
8. CNN-LSTM-Based Insider Threat Detection Model // 2025 International Conference on Electrical Automation and Artificial Intelligence (ICEAAI). – IEEE, 2025. – P. 985–990.
9. Уланов К.А. Метрики качества данных // Молодой ученый. – 2024. – № 20 (519). – С. 17–19.
10. Barracuda Networks. Survey sees global decline in data breach costs // Barracuda Blog. – 2025. – 2 Sept. – URL: <https://blog.barracuda.com/2025/09/02/survey-global-decline-data-breach-costs> (дата обращения: 15.02.2026).
11. Jeon D., Jeung W., Kim T., No A., Choi J. An Information Theoretic Evaluation Metric for Strong Unlearning // arXiv preprint arXiv:2405.17878. – 2024.
12. Roberts S.W. Control chart tests based on geometric moving averages // Technometrics. – 1959. – Vol. 1, No. 3. – P. 239–250.

13. Lindauer B. Insider Threat Test Dataset // Carnegie Mellon University. – 2020. – URL: https://kithub.cmu.edu/articles/dataset/Insider_Threat_Test_Dataset/12841247/1 (дата обращения: 15.02.2026).
14. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation Forest // 2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining. – IEEE, 2008. – P. 413–422.
15. Lin D. A User and Entity Behavior Analytics Scoring System Explained // Exabeam Blog. – 2017. – URL: <https://www.exabeam.com/blog/ueba/a-user-and-entity-behavior-analytics-scoring-system-explained/> (дата обращения: 15.02.2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНЕ: КАК ВИРТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СПАСАЮТ РЕАЛЬНЫЕ ЖИЗНИ

Е.О. Мишушина¹, Н.Ю. Заленская¹, И. Бенамри¹, Дж.В. Аботчие¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена анализу роли компьютерного и физического моделирования в современной медицине. Рассматриваются ключевые направления этой технологии: от создания персонализированных 3D-моделей органов для хирургического планирования и молекулярного моделирования для разработки лекарств до эпидемиологических моделей, прогнозирующих распространение болезней.

Ключевые слова: медицинское моделирование, 3D-печать, искусственный интеллект, персонализированная медицина, хирургический симулятор, цифровой двойник, машинное обучение, виртуальный скрининг.

MODELLING IN MEDICINE: HOW VIRTUAL TECHNOLOGIES SAVE REAL LIVES

E. O. Mishushina¹, N.Y. Zalenskaya¹, I. Benamri¹, J.V. Abotchie¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to the analysis of the role of computer and physical modeling in modern medicine. The key directions of this technology are considered: from the creation of personalized 3D organ models for surgical planning and molecular modeling for drug development to epidemiological models that predict the spread of diseases.

Keywords: medical modelling, 3D printing, artificial intelligence, personalized medicine, surgical simulator, digital twin, machine learning, virtual screening.

На первый взгляд может показаться, что медицинское моделирование – это удел учёных или дорогостоящая «игрушка» для крупных клиник, однако его фундаментальная необходимость проистекает из трёх ключевых ограничений

традиционной медицины, которые долгое время считались неизбежным злом, но сегодня перестали быть таковыми. Речь о риске, стоимости и этике. Представьте классический путь обучения хирурга: его первые ответственные манипуляции происходят на живом человеке, под пристальным наблюдением наставника. Это колоссальный стресс и для студента, и, что важнее, для пациента, который невольно становится объектом учебного процесса.

Сфера медицинского моделирования, частью которой является этот подход, невероятно широка и многоуровневая. Одним из самых наглядных направлений является анатомическое и физиологическое моделирование, то есть создание цифровых и физических 3D-копий органов, систем и даже всего тела человека. Уникальность сегодняшнего подхода заключается в персонализации: используя данные компьютерной или магнитно-резонансной томографии конкретного пациента, врачи могут реконструировать точную модель его анатомии в инженерных пакетах для сегментации, например ITK-SNAP или Synopsys Simpleware.

Перед сложной операцией на сердце с аномалией сосудов хирург не просто изучает снимки, но может распечатать на 3D-принтере физическую копию этого сердца из гибкого полимера, имитирующего живую ткань. Это позволяет почувствовать будущую операцию руками, выбрать оптимальный доступ и инструменты, заранее увидеть анатомические ловушки, что резко снижает риски и время самого вмешательства. Сюда же относятся симуляторы для отработки лапароскопических операций и виртуальные тренажёры, обучающие проводить ультразвуковую диагностику, которые уже стали стандартом во многих хирургических резидентурах мира. Если анатомическое моделирование работает с видимыми, макроскопическими структурами, то молекулярное и клеточное моделирование погружается в мир, недоступный человеческому глазу, – мир молекул, где с помощью специального программного обеспечения, такого как PyMOL или UCSF Chimera, учёные создают компьютерные модели белков, рецепторов, фрагментов ДНК и целых клеточных органелл. Это фундамент персонализированной медицины и ускоренной разработки лекарств, потому что трёхмерная модель позволяет в прямом смысле увидеть, как молекула потенциального препарата стыкуется с целевым белком-мишенью, насколько плотно она связывается, не блокирует ли она при этом другие важные рецепторы и не образует ли токсичных метаболитов. Можно смоделировать, как вирусная частица проникает через клеточную мембрану, как лекарство перерабатывается в печени, и спрогнозировать возможные побочные эффекты, даже не прибегая к первым испытаниям на жи-

вотных. Такое виртуальное скринирование тысяч соединений экономит годы работы и миллиарды долларов, направляя ресурсы только на самые перспективные варианты.

Следующий уровень сложности представляют собой модели органов, физиологических систем и патологических процессов, где создаются уже не статичные картинки, а интегративные динамические модели, описывающие работу живого организма во времени. Речь идёт, например, о модели сердечно-сосудистой системы, учитывающей давление, кровоток и эластичность стенок сосудов, или о модели распространения злокачественной опухоли и её реакции на разные схемы химиотерапии или облучения. Такие симуляции помогают врачу не просто заглянуть внутрь пациента, но и понять механизмы развития заболевания, предсказать, как будет прогрессировать болезнь у конкретного человека, и смоделировать отдалённые последствия разных стратегий лечения ещё до их начала. Это знаменует переход от реактивной медицины, лечащей уже случившееся, к медицине предиктивной, способной предвидеть и предотвращать. Наконец, существует макромасштабное эпидемиологическое и популяционное моделирование, которое вышло на первый план во время пандемии COVID-19. Такие модели оперируют не клетками и не органами, а целыми группами людей, городами и странами, используя сложные математические уравнения и огромные массивы статистических данных о перемещении населения, социальных контактах, уровне вакцинации, инкубационном периоде болезни и летальности. С их помощью органы здравоохранения могут оценить, какой эффект даст та или иная мера – от локального карантина до массовой вакцинации – ещё до её введения, и принять более обоснованные, взвешенные решения. Это превращает моделирование в мощный инструмент управления общественным здоровьем и распределения ограниченных ресурсов в кризисных ситуациях.

Как и любое направление, находящееся в стадии активного становления, медицинское моделирование демонстрирует как впечатляющие достижения, так и уязвимые места, причём способность удерживать это равновесие в голове специалиста едва ли не важнее самой технологии. Очевидные плюсы сегодня уже не нуждаются в лабораторных доказательствах – они вшиты в повседневную практику тысяч клиник. Самый весомый из них – смещение уязвимого звена из красной зоны в безопасную: теперь не пациент служит тренажёром для неопытной руки или полигоном для фармацевтической гипотезы.

Ошибка перестала быть синонимом вреда, превратившись в учебный сценарий, который можно остановить, разобрать и перезапустить. Отсюда же вытекает и финансовая логика: прогнать десять тысяч молекул через вычислительный алгоритм на порядки дешевле, чем синтезировать их в пробирке, не говоря уже об отзыве препарата с рынка. Или взять предоперационную подготовку: напечатанный полимерный аналог сердца обходится в сотни раз дешевле, чем устранение последствий неудачно выбранного доступа во время реальной операции. И наконец, то, что раньше считалось врачебным фатализмом – «такой случай бывает раз в жизни, научиться негде», – уходит в прошлое. Сегодня можно в одиночку, без риска и спешки, повторить редкую аномалию столько раз, сколько потребуется для полного мышечного автоматизма.

Но именно здесь и начинается зона напряжения. Потому что за всё это приходится платить, и плата эта не всегда очевидна на первый взгляд. Да, моделирование требует тяжёлой инфраструктуры: вычислительные мощности, инженерное ПО, принтеры, расходка, но главное – люди, которые умеют одновременно читать томограмму, писать код и понимать биомеханику. Таких специалистов единицы, и их выращивание – вопрос не месяцев, а лет и значительных бюджетов. Однако есть и более глубокое ограничение, которое не снимается никакими инвестициями. Модель всегда остаётся моделью. Мы закладываем в неё то, что знаем, и то, во что верим, но живая ткань устроена сложнее наших представлений о ней. Клетка – не чертёж, организм – не сумма уравнений. Модель может безупречно просчитать гемодинамику, но пропустить влияние вчерашнего стресса, гормонального фона или индивидуальной реакции на шовный материал. Именно поэтому любая симуляция, прежде чем попасть в операционную или в аптеку, обязана проходить многократную сверку с реальными исходами, и этот процесс никогда не завершается.

Здесь мы упираемся в главное противоречие, которое невозможно обойти. Чтобы модель была точной, ей нужны живые данные, но, чтобы получить живые данные, нужно лечить реальных людей. Симуляция не может заменить практику – она может лишь учиться у неё и, в свою очередь, делать её безопаснее. Это не порочный круг, а скорее принцип сообщающихся сосудов. И самый большой риск сегодня коренится не в том, что модели несовершенны, а в том, что им начинают верить безоговорочно. Каким бы реалистичным ни был напечатанный орган, он не дышит, не кровоточит, не сокращается в ответ на прикосновение и не меняет плотность из-за спайки. Виртуальная кровь течёт по виртуальным сосудам идеально ровно, чего не бывает в теле человека, перенёсшего три операции

и страдающего диабетом. Поэтому попытка подменить реальность симуляцией опаснее, чем отказ от неё. Смысл моделирования не в замещении, а в усилении. Оно не говорит врачу, как надо, – оно говорит: «посмотри, что может произойти, если выбрать этот путь». Окончательное решение всегда остаётся за человеком, который держит в руках не джойстик симулятора, а настоящий инструмент. И чем точнее модель, тем больше ответственность этого выбора.

Список литературы

1. Osso VR : хирургический симулятор с тактильной обратной связью // Osso Health Inc.: [сайт]. – URL: <https://www.ossovr.com> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
2. Virtual Cell : платформа для моделирования клеточных процессов // National Resource for Cell Analysis and Modeling, University of Connecticut Health Center: [сайт]. – URL: <https://vcell.org> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
3. ITK-SNAP : программное обеспечение для сегментации медицинских изображений // Penn Image Computing and Science Laboratory: [сайт]. – URL: <http://www.itksnap.org> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
4. PyMOL : молекулярная визуализация в биомедицине // Schrödinger, Inc.: [сайт]. – URL: <https://pymol.org> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
5. Применение 3D-печати в персонализированной хирургии : анализ клинических исходов // Цифровая медицина. – 2025. – Т. 12, № 3. – URL: <https://www.digitalmedicine.ru/archive/3d-surgery-2025> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
6. Эпидемиологическое моделирование и прогнозирование распространения инфекций // Центр математического моделирования в здравоохранении, Сеченовский университет: [сайт]. – URL: <https://www.sechenov.ru/epidem-model> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
7. Высокопроизводительные вычислительные системы в задачах фармакологии и биоинформатики // WonderfulPCB: [сайт]. – 2025. – 18 сент. – URL: <https://www.wonderfulpcb.com/ru/blog/high-performance-computing-benefits-challenges-trends-industry/> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
8. Simpleware ScanIP : инженерный пакет для обработки томографических данных // Synopsys, Inc.: [сайт]. – URL: <https://www.synopsys.com/simpleware> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

9. Валидация математических моделей в клинической медицине : современные подходы и стандарты // Вестник доказательной медицины. – 2024. – № 45. – URL: <https://www.evidence-med.ru/validation-2024> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

10. UCSF ChimeraX : инструменты молекулярного моделирования в персонализированной терапии // Resource for Biocomputing, Visualization, and Informatics, University of California, San Francisco: [сайт]. – URL: <https://www.cgl.ucsf.edu/chimerax/> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

11. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHN.

12. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов / С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин, А. И. Заревич // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10–17.

13. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintizenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388–390.

14. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР / Д. В. Шеховцов, А. М. Плотников, К. В. Зольников, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79–86.

References

1. Osso VR : surgical simulator with tactile feedback // Osso Health Inc.: [website]. – URL: <https://www.ossovr.com> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

2. Virtual Cell : a platform for modeling cellular processes // National Resource for Cell Analysis and Modeling, University of Connecticut Health Center: [website]. – URL: <https://vcell.org> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

3. ITK-SNAP : software for medical image segmentation // Penn Image Computing and Science Laboratory: [website]. – URL: <http://www.itksnap.org> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

4. PyMOL : Molecular imaging in biomedicine // Schrödinger, Inc.: [website]. – URL: <https://pymol.org> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

5. Application of 3D printing in personalized surgery: analysis of clinical outcomes // Digital medicine. – 2025. – Vol. 12, No. 3. – URL: <https://www.digitalmedicine.ru/archive/3d-surgery-2025> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.
6. Epidemiological modeling and forecasting of the spread of infections // Center for Mathematical Modeling in Health Care, Sechenov University: [website]. – URL: <https://www.sechenov.ru/epidem-model> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.
7. High-performance computing systems in the tasks of pharmacology and bioinformatics // WonderfulPCB: [website]. – 2025. – September 18. – URL: <https://www.wonderfulpcb.com/ru/blog/high-performance-computing-benefits-challenges-trends-industry/> (date of access: 02/09/2026). – Text : electronic.
8. Simpleware ScanIP : an engineering package for tomographic data processing // Synopsys, Inc.: [website]. – URL: <https://www.synopsys.com/simpleware> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.
9. Validation of mathematical models in clinical medicine : modern approaches and standards // Bulletin of Evidence-based Medicine. – 2024. – No. 45. – URL: <https://www.evidence-med.ru/validation-2024> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.
10. UCSF ChimeraX : Molecular modeling tools in personalized therapy // Resource for Biocomputing, Visualization, and Informatics, University of California, San Francisco: [website]. – URL: <https://www.cgl.ucsf.edu/chimerax/> (date of access: 02/09/2026). – Text : electronic.
11. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.
12. Development of the bank's information subsystem for issuing loans / S. A. Sazonova, V. F. Asminin, A. I. Zarevich // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17.
13. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintizenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, No. 5. – P. 388-390.
14. RTL model development technology for product description in the development of a CAD software and analytical complex / D. V. Shekhovtsov, A.M. Plotnikov, K. V. Zolnikov, A. I. Zarevich // Modeling of systems and processes. - 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОФЛАЙН-СИСТЕМЫ ОБЕЗЛИЧИВАНИЯ И ШИФРОВАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ДОКУМЕНТАХ

А.Е. Надёнов¹, О.А. Авилова¹, Е.И. Скворцова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматриваются направления дальнейшего развития настольной офлайн-системы, предназначенной для автоматического обезличивания и полевого шифрования персональных данных в документах. Исходная версия системы обнаруживает фрагменты с персональными данными, поддерживает два режима обработки (безвозвратное удаление и управляемое шифрование) и сохраняет визуальную структуру документа. В статье обсуждается, как этот прототип может эволюционировать в полноценный промышленный инструмент: за счёт укрепления криптографической подсистемы и управления ключами на уровне организации, расширения методов де-идентификации текста, интеграции с существующей ИТ-инфраструктурой. Анализируются требования к масштабированию решения. Отдельно рассматриваются перспективы продукта на горизонте нескольких лет: появление специализированных редакций для разных отраслей, возможная кроссплатформенность, встраивание в корпоративные конвейеры подготовки данных и использование накопленной статистики ошибок для постепенного повышения качества де-идентификации. Показано, что при последовательном развитии система может стать устойчивым прикладным инструментом, поддерживающим реальную практику защиты персональных данных в организациях.

Ключевые слова: персональные данные, обезличивание документов, полевое шифрование, контроль целостности, PDF-документы, офлайн-обработка, жизненный цикл продукта, информационная безопасность.

FUTURE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT OFFLINE SYSTEM FOR DE-IDENTIFICATION AND FIELD-LEVEL ENCRYPTION OF PERSONAL DATA IN DOCUMENTS

A.E. Nadenov¹, O.A. Avilova¹, E.I. Skvortsova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper discusses the directions for further development of a desktop offline system designed for automatic anonymization and field-level encryption of personal data in documents. The initial version of the system detects fragments with personal data, supports two processing modes (irreversible deletion and controlled encryption), and preserves the visual structure of the document. The article discusses how this prototype can evolve into a fully-fledged industrial tool by strengthening the cryptographic subsystem and managing keys at the organizational level, expanding text de-identification methods, and integrating with existing IT infrastructure. The paper explores the product's potential over the next few years, including the development of specialized editions for different industries, potential cross-platform compatibility, integration into corporate data preparation pipelines, and the use of accumulated error statistics to gradually improve the quality of de-identification. The paper demonstrates that with consistent development, the system can become a sustainable application tool that supports the real-world practice of protecting personal data in organizations.

Keywords: personal data, depersonalization of documents, field encryption, integrity control, PDF documents, offline processing, product lifecycle, information security.

Разрабатываемая интеллектуальная офлайн-система защиты персональных данных в документах решает конкретную прикладную задачу: автоматизировать обезличивание и шифрование содержимого на уровне полей с сохранением структуры и визуального вида исходного файла. На вход подаются привычные для организаций документы в формате PDF, на выходе формируется версия, из которой персональные данные либо физически удалены, либо заменены шифротекстом, доступ к которому возможен только при наличии ключа организации и соответствующих прав. Такой подход уже на первом этапе даёт ощутимый эффект по сравнению с ручным закрашиванием, но потенциал системы этим не ограничивается. Важный вопрос – как развивать это решение так, чтобы оно стало устойчивым инструментом, способным прожить не один год в реальной инфраструктуре.

Базовый слой развития связан с тем, как система находит персональные данные в тексте. На стартовой версии разумно опираться на регулярные выражения и набор детекторов для очевидных сущностей: паспортных данных, страховых номеров, телефонов, адресов, идентификаторов студентов или пациентов. Однако в любом учреждении быстро обнаруживается собственная специфика: внутренние шаблоны документов, типовые сокращения, повторяющиеся обороты в приказах, нестандартные таблицы. Поэтому в дальнейшей эволюции системы ключевым элементом становится настраиваемый контур обнаружения. Пользователь или сотрудник службы безопасности должен иметь возможность пометить пропущенные фрагменты и ложные срабатывания, а система – накапливать обезличенную статистику и использовать её для корректировки правил.

Это даёт понятный путь роста: сначала поддерживаются типовые российские форматы, затем добавляются отраслевые особенности конкретной организации, а потом и специфические шаблоны отдельных подразделений.

Не менее важен следующий уровень – связь обработки документов с политиками организации. Текущая реализация оперирует профилями обработки, в которых задаётся, какие категории данных следует безвозвратно удалять, а какие – шифровать с возможностью последующего восстановления. В перспективе эти профили должны быть прямо привязаны к бизнес-сценариям, а не только к техническим признакам. Например, один режим может применяться ко всем документам, которые уходят внешнему партнёру; другой – к материалам для судов; третий – к пакетам для научных публикаций; четвёртый – к внутреннему документообороту, где восстановление исходных данных принципиально важно. Для каждого сценария фиксируются допустимые режимы, перечень категорий персональных данных, требования к журналированию и круг лиц, имеющих право запускать ту или иную политику. Таким образом, система становится исполнительным уровнем организационных правил, а не источником произвольных настроек по умолчанию.

Криптографическая часть решения тоже имеет понятный вектор развития. В текущей модели шифрование выполняется на уровне полей документа с использованием ключа организации, а поверх этого вводится контроль целостности. Дальше логично уходить от локального хранения ключей в сторону интеграции с уже существующими механизмами управления ключевой информацией. Во многих организациях есть инфраструктура электронной подписи, аппаратные модули, специализированные сервисы для генерации и хранения ключей. Встраивание системы обезличивания в эту инфраструктуру позволит реализовать ротацию ключей, разграничение полномочий, аудит доступа и восстановление данных в контролируемом режиме. Приложение в этом случае запрашивает у корпоративного криптосервиса операции шифрования и расшифрования для конкретной политики и конкретного документа, а само на уровне PDF отвечает за корректное внедрение шифротекста и меток, необходимых для восстановления.

Отдельный блок относится к контролю целостности и прослеживаемости изменений документов. Задача состоит не только в том, чтобы подписать обработанный файл и зафиксировать факт обезличивания, но и в том, чтобы различать допустимые и недопустимые изменения. В реальной жизни документы пересохраняют, снабжают дополнительными штампами, к ним прикладывают сопровод-

дительные листы. Поэтому дальнейшее развитие системы должно предусматривать модель допустимых трансформаций: определённый набор изменений не нарушает доверие к результату обезличивания, а ряд других сигнализирует о необходимости повторной проверки. Технически это может быть реализовано через формирование контрольных слепков структурных элементов (текстовых блоков, зон с маскировкой, зашифрованных полей) и проверку их неизменности при последующей верификации документа. В спорных ситуациях такая модель даёт возможность не на уровне ощущения, а на уровне фактов показать, что именно происходило с документом после обработки.

С практической стороны важным этапом развития проекта будет ограниченное внедрение в конкретных подразделениях. Разумно начинать не с попытки покрыть всю организацию, а с нескольких рабочих зон, где проблема защиты персональных данных в документах наиболее остра. Это могут быть отделы, готовящие ответные письма регуляторам, канцелярия факультета, формирующая выписки и справки, либо юридический отдел, который регулярно направляет пакеты документов внешним адресатам. На этом шаге задача системы – не заменить существующие офисные пакеты, а встраиваться в один из шагов цепочки: перед отправкой наружу документы проходят через офлайн-обработку, и только после этого подписываются и уходят адресату. По мере накопления опыта становится понятно, какие режимы используются чаще всего, какие типы документов вызывают трудности и какие элементы интерфейса требуют упрощения.

По мере того как система закрепится в одном-двух подразделениях, встанет вопрос интеграции с другими информационными системами. На первом шаге достаточно, что пользователь вручную открывает файл в приложении. В дальнейшем возникает потребность в полуавтоматическом режиме: часть документов отправляется в очередь обработчика через общую папку, систему электронного документооборота или простую команду запуска. На более зрелом уровне развития проект может получить консольный интерфейс для пакетной обработки и минимальный программный интерфейс для того, чтобы его можно было вызывать из уже существующих скриптов и сервисов внутри организации. При этом принцип остаётся прежним: данные не выходят за пределы инфраструктуры, обработка выполняется локально, а система не превращается в громоздкую платформу, требующую отдельного штата сопровождения.

Для долгосрочного развития важны и количественные показатели. Пока инструмент находится в стадии раннего внедрения, его эффективность часто оце-

нивается на уровне ощущений: стало ли меньше ручной работы, удобнее ли пользователю, становится ли подготовка документов более предсказуемой. На следующем этапе можно вводить более строгие метрики. Это может быть доля документов, прошедших через систему среди всех исходящих материалов определённого типа; среднее время подготовки одного пакета до и после внедрения; число инцидентов, при которых обнаруживались незащищённые персональные данные в отправленных документах; распределение типичных ошибок инструмента и пользователей. Под такие метрики потребуется выстроенный журнал действий и методика выборочного контроля, но именно они позволяют предметно обсуждать, куда направлять усилия по доработке и обновлению.

Ещё один аспект будущего развития проекта – сопровождение и реакция на изменения внешней среды. Форматы PDF и способы их генерации в разных системах меняются, появляются новые требования к защите данных, изменяются практики составления документов. Чтобы приложение оставалось актуальным, придётся регулярно обновлять модули разбора структуры, добавлять новые шаблоны для выявления персональных данных, адаптировать политики под изменения законодательства и внутренних регламентов. На старте это можно делать вручную, опираясь на обратную связь от конкретных пользователей. По мере расширения круга организаций понадобится более формальный подход к релизам: тестирование на репрезентативном наборе «сложных» документов, фиксация изменений в правилах обработки, аккуратный перенос настроек между версиями.

Со временем система может выйти за пределы узкого сценария защиты документа перед отправкой и использоваться для подготовки обезличенных корпусов текстов. Например, университетская структура может захотеть обезличивать большие массивы документов для аналитики, разработки типовых форм или обучения собственных моделей обработки текста. При правильно реализованном обезличивании и строгом удалении исходных персональных данных такие корпуса сохраняют ценность для анализа процессов, не создавая дополнительных рисков для частных лиц. В этом случае проект перестаёт быть только инструментом защиты и превращается в элемент более широкого подхода к работе с данными в организации.

Перспектива проекта достаточно чётко просматривается. Базовая идея – интеллектуальное офлайн-приложение, которое обезличивает и шифрует персональные данные в PDF-документах с учётом политики организации и контролем целостности, – задаёт технологическое ядро. Дальнейшее развитие будет идти по

нескольким параллельным направлениям: повышение точности и адаптируемости детектирования, более тесная привязка к внутренним политикам, интеграция с инфраструктурой управления ключами, расширение сценариев использования в реальных подразделениях, выстраивание метрик и методик сопровождения. Если эти шаги будут реализованы, система сможет выйти за рамки учебного прототипа и занять устойчивое место в практической работе организаций, где защита персональных данных в документах является не формальностью, а регулярной задачей.

Список литературы

1. Корнилова А. А., Юнусова Д. С., Исмагилова А. С. Защита персональных данных: учебное пособие. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2020. – 120 с.
2. Гаев А. А., Задиран С. В., Коршекевич М. Г. и др. Защита персональных данных: учебное пособие для слушателей системы дополнительного образования взрослых. – Минск: РИВШ, 2024. – 123 с.
3. Цифровизация учета и аудита: эволюция технологий, российский опыт и перспективы развития. Генералова Н.В., Гузов Ю.Н., Соболева Г.В. Финансы и бизнес. 2021. Т. 17. № 4. С. 63-80.
4. Безопасные информационные технологии. Сборник трудов Тринадцатой международной научно-технической конференции / Москва, 2024.
5. Информационная безопасность как приоритетное направление развития цифровой экономики. Джабраилова Л.Х. Махачкала, 2020.
6. Глава 5. Безопасность использования когнитивных информационных технологий принятия решений. Миронова Н.Г. В книге: Экономика и право. Арбекова В.В., Быченко Ю.А., Варганова М.Л., Григоришин А.В., Иванова Е.Н., Костыгова Л.А., Круглов В.Н., Миронова Н.Г., Орлова Т.С., Пичугин А.П., Рягузова Т.А., Савченко Д.А., Силуанова Л.С., Стадник А.Т., Тютин Д.В., Чуйко Е.А., Яхяев Д.Б. Чебоксары, 2021. С. 112-131.

References

1. Kornilova A. A., Yunusova D. S., Ismagilova A. S. Personal Data Protection: A Study Guide. Ufa: BashSU Research Center, 2020, 120 p.
2. Gaev A. A., Zadiran S. V., Korshekevich M. G., et al. Personal Data Protection: A Study Guide for Students of the Adult Continuing Education System. Minsk: RIVSh, 2024, 123 p.

3. Digitalization of Accounting and Auditing: Technology Evolution, Russian Experience, and Development Prospects. Generalova N. V., Guzov Yu. N., Soboleva G. V. Finance and Business. 2021, Vol. 17, No. 4, pp. 63-80.

4. Secure Information Technologies. Proceedings of the Thirteenth International Scientific and Technical Conference / Moscow, 2024.

5. Information Security as a Priority Direction for the Development of the Digital Economy. Dzhabrailova L.Kh. Makhachkala, 2020.

6. Chapter 5. Security of Using Cognitive Information Technologies for Decision-Making. Mironova N.G. In the book: Economics and Law. Arbekova V.V., Bychenok Yu.A., Vartanova M.L., Grigorishchin A.V., Ivanova E.N., Kostygova L.A., Kruglov V.N., Mironova N.G., Orlova T.S., Pichugin A.P., Ryaguzova T.A., Savchenko D.A., Siluanova L.S., Stadnik A.T., Tyutin D.V., Chuyko E.A., Yakhyaev D.B. Cheboksary, 2021. pp. 112-131.

**РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ АНАЛИЗА ПИЩЕВЫХ ПРИВЫЧЕК И ФОРМИРОВАНИЯ
ПЕРСОНАЛЬНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПИТАНИЮ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИИ**

А.К. Назарова¹, Е.И. Скворцова¹, О.А. Авилова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Разработка распределенной информационной системы для анализа пищевых привычек и формирования персональных рекомендаций по питанию, на основе технологии ИИ. Проводится анализ рынка и аргументируется выигрышность среди конкурентов.

Ключевые слова: анализ пищевых привычек, трекер, ии, веб-приложение, конкуренты, рынок, характеристики

**DEVELOPMENT OF A DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM FOR
ANALYZING EATING HABITS AND FORMING PERSONAL NUTRITION
RECOMMENDATIONS BASED ON AI TECHNOLOGY**

A.K. Nazarova¹, E.I. Skvortsova¹, O.A. Avilova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: Development of a distributed information system for analyzing eating habits and generating personalized nutrition recommendations, based on AI technology. A market analysis is provided, and its competitive advantages are argued.

Keywords: eating habit analysis, tracker, AI, web application, competitors, market, characteristics

Вредные пищевые привычки являются одной из самых распространенных проблем общества, вызванных быстрым ритмом современного мира. Несмотря на популяризацию в обществе идей здорового образа жизни, осведомленности людей о последствиях диабета и нарушениях сердечного ритма, многим людям

не хватает инструментов для глубокого понимания собственного рациона и персональных рекомендаций. Рынок цифровых средств контроля питания переполнен решениями, основывающимися на подсчете калорий, но не предлагающие анализ пищевых привычек и персональных советов на их основе.

Социально значимая проблема, на решение которой направлен проект, является комплексной. Ведь большинство людей выбирают еду, не давая себе отчет, почему и что они едят. Что в свою очередь приводит к систематическому дисбалансу питательных веществ, и ведет к перееданию и избыточному суточному потреблению калорий. А традиционные методы контроля питания, такие как диеты, часто оказываются не эффективными в долгосрочной перспективе или вообще вредными. Поэтому проект «FoodMind» призван устранить вышеописанные проблемы, путем создания приложения, основывающегося на интеллектуальной обратной связи, строящейся на существующей пищевой привычке, и причинах ее формирования.

Одним из самых популярных на российском рынке приложений по контролю питания, является FatSecret (рис. 1).

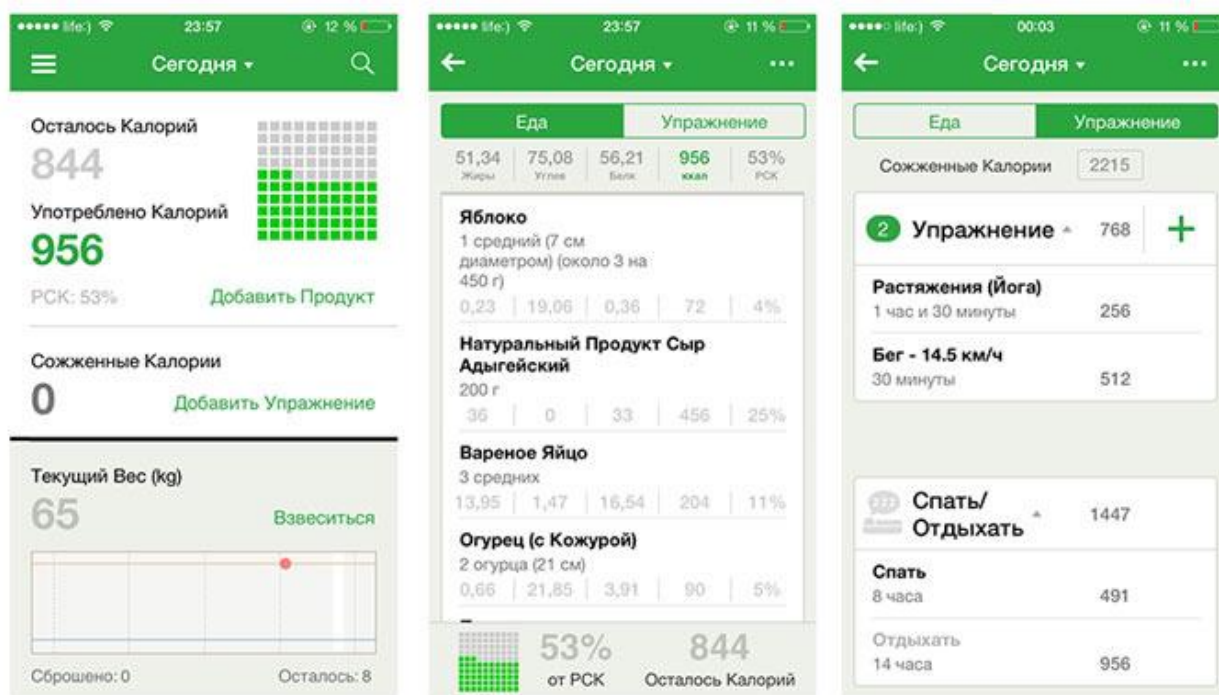


Рисунок 1 – Скриншот FatSecret

Основным преимуществом которого, является большая база продуктов, распространенных в России и точное сканирование штрих-кодов, что значи-

тельно повышает пользовательский опыт. Но его основным недостатком является полное отсутствие интеллектуальной аналитики и персональных подсказок для пользователей. Это приложение можно назвать пассивным дневником, не предлагающим никакой аналитики пищевых привычек.

Среди международных приложений можно выделить сервис Lifesum (рис. 2). Его отличительной чертой является минималистичный интерфейс, и наличие заранее заготовленных планов питания, и редактор блюд. Несмотря на все положительные стороны этого приложения, он так же не имеет адаптивной системы подбора питания и не учитывает уникальные паттерны поведения пользователей.

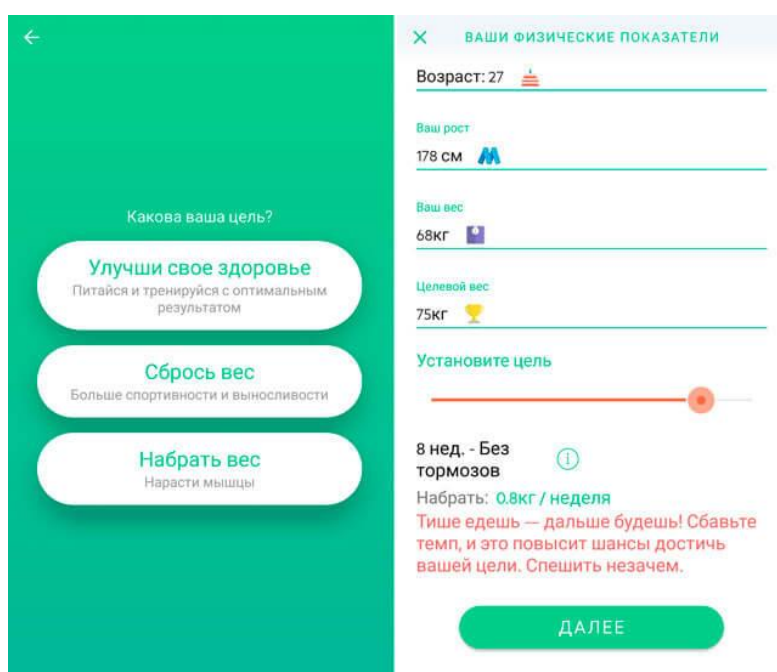


Рисунок 2 – Скриншот Lifesum

Среди всех описанных приложений, можно выделить CalZen AI (рис.3), так как в нем реализован элемент искусственного интеллекта. Но на практике машинное обучение используется только в распознавании пищи по фотографии. Как и в предыдущих случаях, функция анализа пищевых привычек отсутствует.

Проект «FoodMind» позиционирует себя не как обычный дневник питания, а как интеллектуальный ассистент, что в свою очередь будет основным конкурентным преимуществом. Система будет не просто выдавать пользователю данные о потребленных продуктах или выдавать шаблонные советы по приему пищи, а выявлять скрытые паттерны: время приема пищи, эмоциональное состояние, выявлять типовые комбинации продуктов, и отслеживать динамику изме-

нения рациона. Такой подход способствует постепенному и устойчивому формированию здоровых привычек, а не вызовет стресс от изменения питания, который в будущем приведет к большему перееданию.

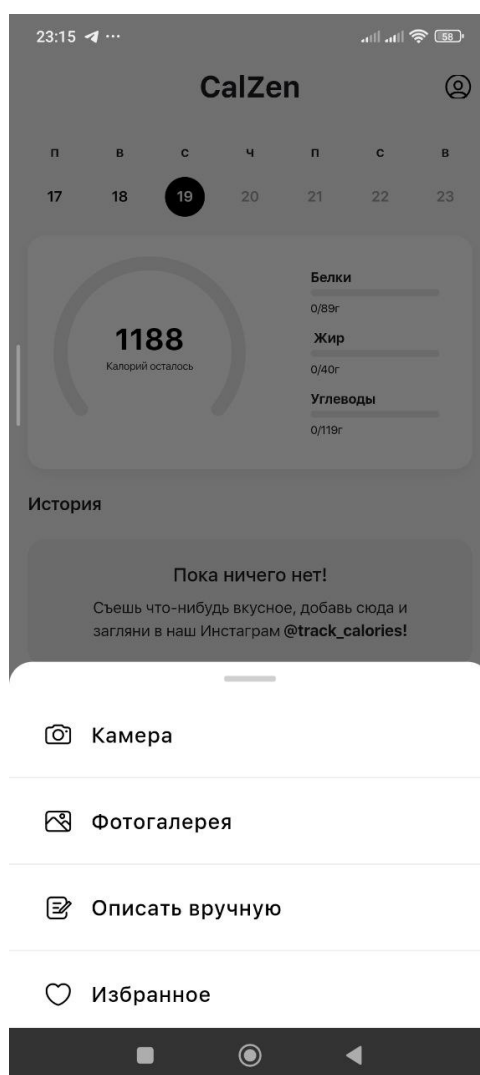


Рисунок 3 – Скриншот CalZen AI

Модель монетизации проекта будет строиться на двух видах аналитики - базовой, которая входит в бесплатную версию и расширенная, которая открывается с платной подпиской. Данная экономическая стратегия позволяет привлечь больше потенциальных клиентов по сравнению с конкурентами.

Проект «FoodMind» направлен на устранение ключевого недостатка среди существующих конкурентов-сервисов для управления питанием – добавление интеллектуальной и персонализированной аналитики пищевых привычек. Уникальность проекта заключается в смещении фокуса с пассивного учета калорий,

на активный анализ поведения пользователя и выработку практических рекомендаций, что в свою очередь соответствует популяризации персонализированной медицины и здорового образа жизни.

В таблице 1 отражена сравнительная характеристика между проектом «FoodMind» и проектами-конкурентами, представленными на рынке.

Таблица 1 - отражена сравнительная характеристика «FoodMind» и конкурентов

Характеристика	Проект «FoodMind»	FatSecret	Lifesum	CalZen AI
Глубокий AI-анализ пищевых привычек	Да	Нет	Ограниченно, шаблонно	Нет
Персонализированные адаптивные рекомендации	Да	Нет	Шаблонные планы	Ограниченно
Удобство учета продуктов (база продуктов, ручной ввод)	Да	Да	Да	Бесплатно
Модель монетизации	Базовая версия - бесплатно Расширенная версия – платно	Бесплатно с рекламой	Базовая версия - бесплатно Расширенная версия – платно	Нет
Фокус на российского пользователя	Да	Да	Нет	Нет
Формирование долгосрочных привычек	Да	Нет	Частично	Нет

Также проект «FoodMind» направлен на решение проблемы автоматизированного выявления скрытых паттернов питания и формирования адаптивных рекомендаций на основе методов машинного обучения.

Применение алгоритмов кластеризации к данным о питании позволяет выявлять статистически значимые и интерпретируемые типы пищевого поведения. Гибридная рекомендательная система, сочетающая коллаборативную и контентную фильтрацию, обеспечивает более высокую релевантность рекомендаций по сравнению с системами, использующими единственный метод. Внедрение системы персональных рекомендаций на основе ИИ приводит к повышению пользовательской вовлечённости и удержания.

В работе применялся комплексный подход, включающий:

- Методы машинного обучения без учителя (алгоритм k-means) для сегментации пользователей и выявления паттернов.

- Методы машинного обучения с учителем (матричные разложения) для построения рекомендательной системы.
- Статистические методы для валидации результатов и оценки значимости выводов.

Архитектура разрабатываемой системы «FoodMind» является микросервисной и включает следующие ключевые компоненты (рис. 1):

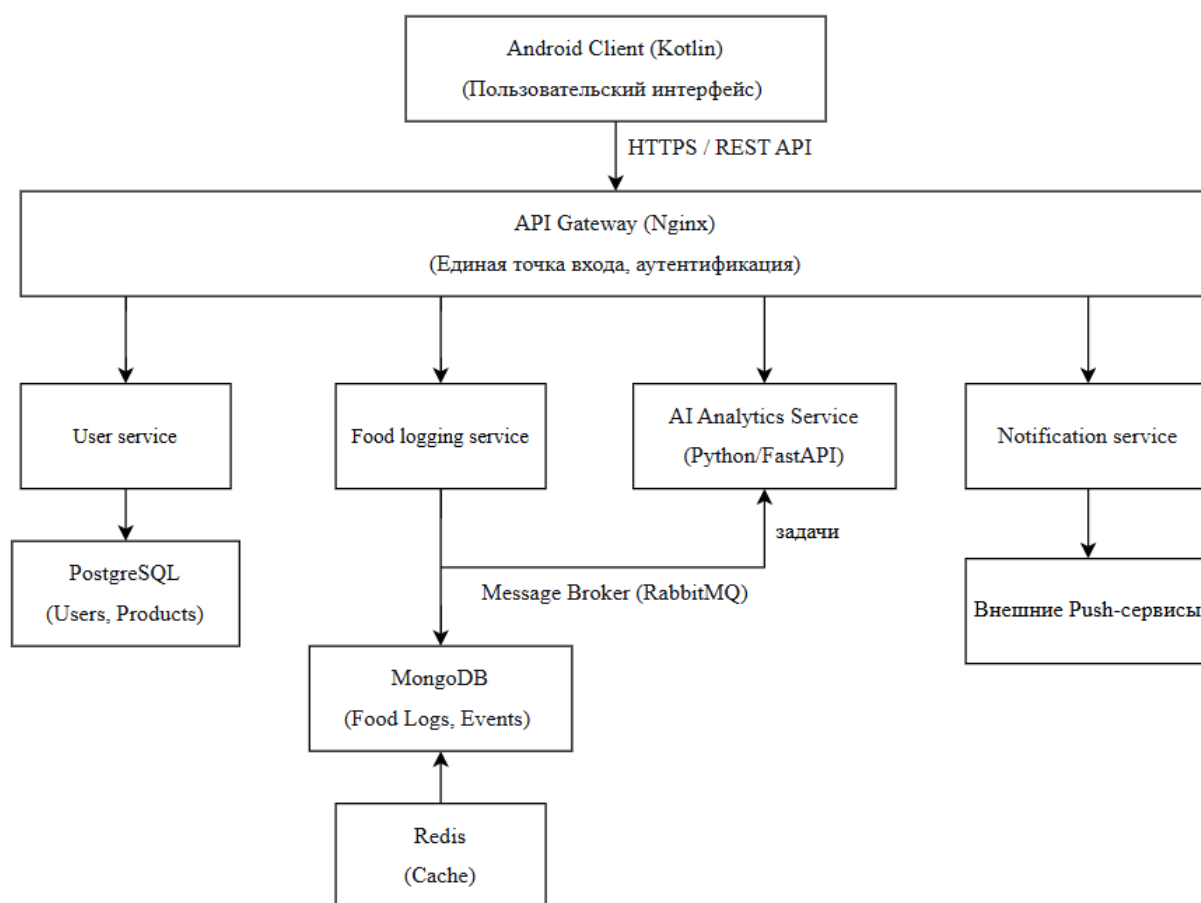


Рисунок 4 – Архитектура распределенной информационной системы "FoodMind"

Список литературы

1. FatSecret. – URL: <https://mobile.fatsecret.com> (дата обращения 04.02.2026).
2. Lifesum. – URL: <https://lifesum.com/ru> (дата обращения 04.02.2026).
3. CalZen AI. – URL: <https://calzen.ai/ru> (дата обращения 04.02.2026).
4. Борзунов, С. В. Языки программирования. Python: решение сложных задач : учебное пособие для вузов / С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2026. – 192 с. – ISBN 978-5-507-51226-3. – Текст :

электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/508367> (дата обращения: 04.02.2026).

5. Артемов, М. А. Машинное обучение : учебно-методическое пособие / М. А. Артемов, С. В. Золотарев, Е. С. Барановский. – Воронеж : ВГУ, 2021. – 22 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/455024> (дата обращения: 04.02.2026).

6. Ачкасов, Д. А. Изучение и моделирование эвристических алгоритмов оптимизации / Д. А. Ачкасов, К. В. Зольников, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 17-28. – DOI: 10.12737/2219-0767-2025-17-28.

References

1. FatSecret. – URL: <https://mobile.fatsecret.com> (accessed date 04.02.2026).

2. Lifesum. – URL: <https://lifesum.com/ru> (accessed date 04.02.2026).

3. CalZen AI. – URL: <https://calzen.ai/ru> (accessed date 04.02.2026).

4. Borzunov, S. V. Programming languages. Python: solving complex problems: a textbook for universities / S. V. Borzunov, S. D. Kurgalin. - 2nd ed., reprinted. - St. Petersburg: Lan, 2026. - 192 p. - ISBN 978-5-507-51226-3. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/508367> (accessed: 02/04/2026).

5. Artemov, M. A. Machine learning: a teaching aid / M. A. Artemov, S. V. Zolotarev, E. S. Baranovsky. - Voronezh: VSU, 2021. - 22 p. - Text: electronic // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/455024> (accessed: 02/04/2026).

6. Achkasov, D. A. Study and modeling of heuristic optimization algorithms / D. A. Achkasov, K. V. Zolnikov, N. N. Litvinov // Modeling of systems and processes. - 2025. - Vol. 18, No. 1. - P. 17-28. - DOI: 10.12737/2219-0767-2025-17-28.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕСТИРОВАНИЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОЙ ДОСТАВКИ

А.А. Наумов¹, О.А. Авилова¹, А.С. Ягодкин¹, В.А. Головин¹

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматриваются современные методологии тестирования программного обеспечения в контексте трансформации процессов разработки от традиционных водопадных моделей к практикам непрерывной доставки. Показана эволюция тестирования от изолированного этапа верификации к интегрированной компоненте жизненного цикла разработки, обеспечивающей немедленную обратную связь о качестве при каждом изменении кода. Представлен анализ классификации методов тестирования по уровням, техникам и типам, а также обоснована эффективность стратегии «сдвига влево» для снижения стоимости исправления дефектов. Особое внимание уделено роли автоматизации и интеграции тестовых проверок в конвейеры непрерывной интеграции и доставки.

Ключевые слова: тестирование программного обеспечения, непрерывное тестирование, автоматизация тестирования, стратегия сдвига влево, DevOps, качество ПО.

MODERN APPROACHES TO SOFTWARE TESTING IN CONTINUOUS DELIVERY ENVIRONMENTS

A.A. Naumov¹, O.A. Avilova¹, A.S. Yagodkin¹, V.A. Golovin¹

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper examines contemporary software testing methodologies in the context of development process transformation from traditional waterfall models to continuous delivery practices. The evolution of testing from an isolated verification stage to an integrated component of the development lifecycle is demonstrated, providing immediate quality feedback for every code change. The analysis covers classification of testing methods by levels, techniques, and types, with justification of the shift-left strategy effectiveness for reducing defect correction costs. Special attention is given to the role of test automation and integration of verification checks into continuous integration and delivery pipelines.

Keywords: software testing, continuous testing, test automation, shift-left strategy, DevOps, software quality.

Современная разработка программного обеспечения характеризуется радикальным сокращением циклов выпуска и переходом от последовательных водопадных моделей к итеративным практикам непрерывной доставки. В этих условиях традиционное представление о тестировании как финальном этапе жизненного цикла утратило актуальность. Тестирование трансформировалось в непрерывный процесс верификации качества, интегрированный во все фазы создания продукта – от анализа требований до мониторинга в эксплуатации. Данная трансформация обусловлена экономическими факторами: по данным исследований, стоимость исправления дефекта на этапе производства в 100 раз превышает затраты на его устранение на стадии проектирования, что делает позднее тестирование экономически неэффективным.

Классификация методов тестирования формирует многоуровневую систему, где каждый критерий выделяет специфический аспект верификации. По уровням выделяют модульное (юнит) тестирование отдельных компонентов, интеграционное – проверку взаимодействия модулей, системное – верификацию приложения как единого целого и приёмочное – подтверждение готовности к эксплуатации. Оптимальное распределение усилий описывается концепцией «пирамиды тестирования»: 70% усилий направляется на модульные тесты, 20% – на интеграционные и 10% – на системные и приёмочные проверки. По техникам тест-дизайна различают методы «чёрного ящика» (анализ поведения без знания внутренней структуры), «белого ящика» (использование информации о коде для проектирования тестов) и гибридные подходы «серого ящика». По типам выделяют функциональное тестирование соответствия требованиям, нефункциональное (производительность, безопасность, отказоустойчивость) и регрессионное – проверку отсутствия побочных эффектов после изменений.

Стратегия «сдвига влево» (shift-left testing) представляет собой перенос тестовых активностей на ранние этапы жизненного цикла с целью снижения стоимости обнаружения и исправления дефектов. Практическая реализация включает тестирование требований на этапе анализа, применение разработки через тестирование (TDD), статический анализ кода ещё до компиляции и раннее вовлечение тестировщиков в планирование спринтов. Экономический эффект подтвержда-

ется эмпирическими данными: перенос обнаружения дефектов на этапы проектирования и разработки снижает общие затраты на обеспечение качества на 40–60% и сокращает цикл разработки на 25–35%.

Непрерывное тестирование в среде DevOps интегрирует автоматизированные проверки качества на всех этапах конвейера доставки. Многоуровневая архитектура включает: проверку при коммите (модульные тесты и статический анализ), сборку и интеграцию (тесты API и контрактов), развёртывание в тестовую среду (сквозные сценарии и нагрузочные проверки) и мониторинг в продакшене (анализ метрик и сапай-релизы). Ключевой принцип – фокус на бизнес-рисках: тесты ранжируются по потенциальному ущербу от сбоя, а не по технической сложности. Оценка зрелости практик основывается на метриках: время обратной связи (целевой показатель – менее 10 минут), процент нестабильных тестов (менее 1%), покрытие критических сценариев (100%) и скорость восстановления после сбоев (менее 1 часа).

Автоматизация тестирования экономически оправдана при системном подходе к отбору сценариев. Критерии выбора включают высокую частоту выполнения, стабильность требований, критичность для бизнеса, трудоёмкость ручной проверки и подверженность человеческой ошибке. Архитектурные принципы зрелых решений – паттерн Page Object для инкапсуляции элементов интерфейса, структурированное проектирование с разделением на уровни сценариев, бизнес-логики и взаимодействия с интерфейсом, а также изолированное управление тестовыми данными. Ключевой показатель зрелости – соотношение времени поддержки к времени разработки не превышает 1:3.

Таким образом, современное тестирование программного обеспечения представляет собой стратегический компонент системы непрерывной доставки ценности, а не изолированный этап верификации. Успешная стратегия требует многоуровневого подхода с оптимальным распределением усилий по пирамиде тестирования, системной автоматизации критических сценариев и интеграции проверок качества на всех этапах конвейера доставки. Стратегия «сдвига влево» обеспечивает наибольший экономический эффект за счёт переноса тестовых активностей на ранние этапы жизненного цикла. Перспективы развития связаны с дальнейшей интеграцией интеллектуальных технологий для оптимизации тестовых наборов и адаптацией практик к новым архитектурным парадигмам, однако фундаментальная роль остаётся за формированием культуры качества как общей ответственности всей команды разработки.

Список литературы

1. Подситков, М. А. Решение проблем качества обеспечения процесса и ресурсов компании ООО Папирус-Столица / М. А. Подситков // Славянский форум. 2025. № 4 (50). С. 279-289.
2. Цехановский, В. В. Проектирование информационных систем: структуры и платформы : учебное пособие / В. В. Цехановский, А. И. Водяхо. – Москва, 2023.
3. Системная инженерия в проблемах национальной безопасности / Анищенко А.В., Артемьев В.Б., Бондарева М.К., Будзко В.И., Бурмака А.А., Бычков И.В., Васильев В.И., Вульфин А.М., Гаденин М.М., Гарбук С.В., Гедзюн В.С., Головин С.А., Емельянов С.Г., Жуков А.О., Зацаринный А.А., Зорин А.В., Игнатьев А.Г., Капустин А.Я., Климов С.М., Козлов С.В. и др. Тематический блок «Национальная безопасность». – Москва, 2025.

References

1. Podsitkov, M. A. Addressing Quality Issues in Process and Resource Support at Papyrus Stolitsa LLC / M. A. Podsitkov // Slavic Forum. 2025. No. 4 (50). pp. 279-289.
2. Tsekhanovsky, V. V. Designing Information Systems: Structures and Platforms Study Guide / V. V. Tsekhanovsky, A. I. Vodyakho. – Moscow, 2023.
3. Systems Engineering in National Security Issues / Anishchenko A.V., Artemyev V.B., Bondareva M.K., Budzko V.I., Burmaka A.A., Bychkov I.V., Vasiliev V.I., Vulfin A.M., Gadenin M.M., Garbuk S.V., Gedzyn V.S., Golovin S.A., Emelyanov S.G., Zhukov A.O., Zatsarinny A.A., Zorin A.V., Ignatiev A.G., Kapustin A.Ya., Klimov S.M., Kozlov S.V. and others. Thematic block “National Security”. – Moscow, 2025.

ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВЫХ СРЕДОЗАЩИТНЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ

А.И. Новиков^{1,2}, Т.П. Новикова³, С.В. Ребко⁴, А.А. Богомолов², С.В. Кокорева²

¹ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт (ФГБНУ АФИ)

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова (СПбГЛТУ)

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

⁴Белорусский государственный технологический университет (БГТУ), Минск

Аннотация. В работе представлена концепция и предварительные результаты разработки автоматизированной системы мониторинга состояния и продуктивности сортовых лесных культур на примере сосны обыкновенной сорта «Негорельская». Система основана на интеграции мультиспектральных спутниковых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), наземных измерений флуоресценции хлорофилла и биометрических параметров в рамках парадигмы «целевого растения». Особое внимание уделяется роли сорта «Негорельская» как ключевого компонента для создания устойчивых средозащитных насаждений в условиях климатических изменений, в частности, для формирования экологического каркаса и рекреационного пояса Санкт-Петербурга. Предлагаемый подход позволяет перейти от традиционного лесоустройства к прецизионному лесоводству, обеспечивая оперативную оценку селекционного эффекта, прогнозирование продуктивности и выявление стрессовых состояний насаждений.

Ключевые слова: сорт «Негорельская», дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), мультиспектральные данные, автоматизированный мониторинг, флуоресценция хлорофилла, целевое растение, средозащитные насаждения, Санкт-Петербург.

AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE HEALTH AND YIELD OF PROTECTIVE CULTIVARS USING MID-RESOLUTION MULTISPECTRAL IMAGERY

A.I. Novikov^{1,2}, T.P. Novikova³, S.V. Rebko⁴, A.A. Bogomolov², S.V. Kokoreva²

¹Agrophysical Research Institute

² St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

³Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

⁴Belarusian State Technological University, Minsk

Abstract. The paper presents the concept and preliminary results of the development of an automated system for monitoring the condition and productivity of varietal forest crops using the example of the common pine variety "Negorelskaya". The system is based on the integration of multispectral satellite data from Earth remote sensing (ERS), ground-based measurements of chlorophyll fluorescence, and biometric parameters within the "target plant" paradigm. Special attention is paid to the role of the Negorelskaya variety as a key component for creating sustainable environmental protection plantations in the context of climate change, in particular, for the formation of the ecological framework and recreational belt of St. Petersburg. The proposed approach allows for a transition from traditional forest management to precision forestry, providing an operational assessment of the selection effect, forecasting productivity, and identifying stress conditions in plantations.

Keywords: variety "Negorelskaya", remote sensing of the Earth (RS), multispectral data, automated monitoring, chlorophyll fluorescence, target plant, environmental protection plantations, Saint Petersburg.

Введение: актуальность перехода к прецизионному лесоводству

Современные вызовы – изменение климата, деградация лесных экосистем, усиление антропогенной нагрузки на пригородные леса – требуют новых подходов к управлению лесными ресурсами [1]. Традиционные методы лесоустройства, опирающиеся на периодические наземные обследования, отличаются высокой трудоёмкостью и затратностью, а также недостаточной оперативностью для задач динамического мониторинга. Особую остроту эта проблема приобретает в контексте использования сортового посадочного материала, где необходимо точно оценивать селекционный эффект, адаптивный потенциал и хозяйственную полезность в конкретных почвенно-климатических условиях [4,5].

Внедрение высокопродуктивных и устойчивых сортов, таких как сосна обыкновенная «Негорельская» (*Pinus sylvestris* L. cv. Negorelskaya) [6,7], становится стратегическим направлением для интенсификации лесовосстановления и повышения экологических функций лесов. Для мегаполисов, в частности Санкт-Петербурга, пригородные леса выполняют критически важные средозащитные задачи: формирование рекреационного пояса, депонирование углерода, продуцирование кислорода, защиту от эрозии и шума. Эффективность выполнения этих функций напрямую зависит от состояния и продуктивности древостоев.

Разрешить противоречие между необходимостью детальной информации о каждом дереве и огромной площадью лесных территорий позволяет синергия современных технологий: дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), наземных сенсорных систем и методов анализа больших данных [2,3,5]. Предлагаемая в данном исследовании автоматизированная система мониторинга призвана стать инструментом для оперативного управления сортовыми лесными культурами на основе принципа «целевого растения».

Концепция «целевого растения» и объект исследования – сорт «Негорельская»

Концепция «целевого растения» предполагает индивидуальный учёт, мониторинг и управление жизненным циклом отдельного дерева или генетически однородной группы растений (клона, сорта) – от семени до зрелого насаждения. Это требует создания цифрового паспорта растения, в который входят исходные генетические, морфометрические и спектральные характеристики семени, а также динамика его роста, физиологического состояния и продуктивности на всех этапах онтогенеза.

В качестве модели «целевого растения» в данном проекте выступает сорт сосны обыкновенной «Негорельская», зарегистрированный в Республике Беларусь и обладающий комплексом хозяйственно ценных признаков:

- **Интенсивный рост** – прирост центрального побега достигает 80–115 см за вегетационный сезон.
- **Раннее и обильное семеношение** – начинается с пятилетнего возраста, характеризуется гроздевидным расположением шишек.
- **Повышенная устойчивость** – к фузариозу (инфекционному полеганию сеянцев) и, предположительно, к другим абиотическим стрессам.
- **Декоративный эффект** – важный фактор для рекреационных и ландшафтных посадок.

Эти свойства делают сорт «Негорельская» идеальным кандидатом для создания высокопродуктивных средозащитных насаждений в парковых зонах Санкт-Петербурга. Посадки данного сорта способны быстрее формировать сомкнутый полог, активнее аккумулировать углерод и эффективнее выполнять шумопоглощающие и пылезадерживающие функции, что напрямую улучшает экологическую обстановку в городской среде.

Архитектура автоматизированной системы мониторинга

Разрабатываемая система представляет собой трехуровневую структуру, обеспечивающую многомасштабный анализ.

1. Космический уровень (макроуровень). Основан на регулярном получении и обработке мультиспектральных данных со спутников среднего и высокого пространственного разрешения (например, Sentinel-2, Landsat 8/9, при детальных задачах – PlanetScope). На этом уровне решаются следующие задачи:

- картографирование и инвентаризация – выделение контуров лесных культур, в том числе сортовых;
- оценка индексов жизненности – расчёт вегетационных индексов (NDVI, NDRE, EVI), индексов влажности (NDMI) для оценки фотосинтетической активности, содержания хлорофилла и водного стресса;
- мониторинг динамики – выявление сезонных и межгодовых изменений состояния насаждений, оценка последствий засух и антропогенных воздействий;
- прогнозирование продуктивности – моделирование биомассы и первичной продуктивности на основе спектральных сигнатур.

2. Наземный сенсорный уровень (микроуровень). Включает работу с конкретными «целевыми растениями» с использованием портативного оборудования:

- флуориметры (РАМ-флуориметры) – для оценки фотосинтетической активности по параметрам флуоресценции хлорофилла (F_v/F_m , $Y(II)$), что служит высокочувствительным индикатором стресса на ранних стадиях;
- NIR/Vis-спектрометры – для экспресс-анализа биохимического состава хвои (содержание воды, хлорофилла, азота) и построения калибровочных моделей для спутниковых данных;
- точная биометрия – измерение высоты, диаметра ствола, длины побегов с привязкой к координатам (GPS).

3. Информационно-аналитический уровень. Ядро системы, где происходит интеграция разнородных данных. На этом уровне:

- создаётся и пополняется реляционная база данных, связывающая спутниковые спектральные характеристики конкретного участка с наземными биометрическими и физиологическими показателями каждого измеренного «целевого растения» сорта «Негорельская»;
- разрабатываются и обучаются алгоритмы машинного обучения (регрессия, классификация) для прогнозирования параметров состояния деревьев по спутниковым данным на основе наземных «реперных» измерений;
- формируются цифровые картограммы состояния насаждений, доступные через веб-ГИС-интерфейс для лесоправленцев.

Предварительные результаты и апробация подхода

В рамках российско-белорусского проекта на экспериментальном участке в Воронежской области ранее заложены селекционные культуры сосны «Негорельская» из семян с известными паспортными характеристиками. На этих объектах планируется апробация элементов системы по следующему сценарию:

1. Проведена предварительная обработка спутниковых снимков Sentinel-2 для зон опытных посадок. Получены базовые значения вегетационных индексов, которые будут служить точкой отсчёта для мониторинга динамики.

2. Выполнены биометрические измерения (высота, диаметр корневой шейки) и пилотные измерения флуоресценции хлорофилла на молодых культурах.

3. Разработана структура реляционной базы данных «Семя–Культура», позволяющая отслеживать связь между исходными свойствами семени и ростом дерева в полевых условиях.

4. Продемонстрирована принципиальная возможность дифференциации молодых культур на космических снимках среднего разрешения после проведения лесоводственных мероприятий (посадка, расчистка).

Один из ключевых ожидаемых результатов – создание калибровочных зависимостей между чувствительными наземными показателями стресса (например, эффективность фотосистемы II, $Y(II)$) и спутниковыми индексами (NDRE, PRI – индекс фотозащиты). Это позволит использовать ДЗЗ не только для оценки «зелености», но и для диагностики функционального состояния фотосинтетического аппарата сортов культур на больших территориях.

Значимость для Санкт-Петербурга и перспективы

Внедрение автоматизированной системы мониторинга на основе ДЗЗ для сорта «Негорельская» имеет высокую практическую значимость для Санкт-Петербурга:

1. **Повышение эффективности лесовосстановления.** Система позволяет объективно оценивать, на каких участках пригородного лесного фонда сорт раскрывает свои преимущества, и корректировать планы лесокультурных работ.

2. **Оперативный контроль за состоянием «зелёного щита».** Обеспечивается раннее обнаружение очагов усыхания, болезней или повреждений в насаждениях, выполняющих средозащитную роль, что даёт возможность своевременно принимать меры.

3. **Количественная оценка экосистемных услуг.** На основе данных о биомассе и продуктивности можно точнее рассчитывать объёмы депонированного углерода и продуцируемого кислорода – это важно для экологической отчётности и реализации климатических проектов.

4. **Обоснование для градостроительной политики.** Карты состояния и продуктивности лесных культур становятся основой для планирования развития рекреационной инфраструктуры и охраняемых природных территорий.

Заключение

Разрабатываемая автоматизированная система мониторинга, построенная на синтезе мультиспектрального ДЗЗ и наземных сенсорных технологий в парадигме «целевого растения», представляет собой современный инструмент для перехода к прецизионному и наукоёмкому лесоводству. Сорт сосны обыкновенной «Негорельская», обладающий высоким адаптивным и продукционным потенциалом, является стратегическим ресурсом для усиления средозащитных функций насаждений Санкт-Петербурга. Внедрение предлагаемой системы позволит оптимизировать управление этим ресурсом, обеспечивая устойчивое развитие пригородных лесопарковых территорий в условиях антропогенных и климатических изменений.

Финансирование. Работа выполняется при поддержке гранта Санкт-Петербургского научного фонда, номер 25-РБ-06-15.

Список литературы

1. Кондратов, П. А. Современные тенденции оценки инвестиционной привлекательности проектов в лесном хозяйстве / П. А. Кондратов // Экономическое развитие России. – 2025. – Т. 32, № 9. – С. 139-145. – EDN MJHSBE.

2. Парамонов, А. А. Исследование структуры тропического циклона на основе анализа данных спутникового видеоряда с применением метода почти периодического анализа / А. А. Парамонов, А. В. Калач, А. С. Кравченко // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.

3. Калач, А. В. О возможностях применения метода почти-периодического анализа для обработки изображений / А. В. Калач, А. А. Парамонов, С. Л. Сахаров // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-3-44-52. – EDN HKBSAV.

4. Соколов, С. В. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве / С. В. Соколов, А. И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 2(34). – С. 5-13. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1. – EDN CNXAWZ.

5. Deep-learning approach for fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R. C. Bernardes, A. De Medeiros, L. Da Silva [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801. – DOI 10.3390/agriculture12111801. – EDN HKVPRE.

6. Ранний рост культур (*Pinus sylvestris* L. var. Negorelskaya), полученных из семян с известными спектрометрическими и морфометрическими параметрами / Т. П. Новикова, С. В. Ребко, Е. П. Петрищев, А. И. Новиков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2025. – № 255. – С. 196-224. – DOI 10.21266/2079-4304.2025.255.196-224. – EDN CBXCGT.

7. Prospects assessment of origins of scots pine in a changing climate / S. U. Rabko, L. F. Paplauskaya, P. V. Tupik [et al.] // 12–14 ноября 2025 года, 2025. – P. 119-121. – EDN XHQBWW.

References

1. Kondratov, P. A. Modern Trends in Assessing the Investment Attractiveness of Projects in Forestry // Economic Development of Russia. – 2025. – Vol. 32, No. 9. – Pp. 139-145. – EDN MJHSBE.

2. Paramonov, A. A. Research of the structure of a tropical cyclone based on the analysis of satellite video data using the almost periodic analysis method / A. A. Paramonov, A. V. Kalach, and A. S. Kravchenko // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76.

3. Kalach, A. V. On the Possibilities of Applying the Almost-Periodic Analysis Method for Image Processing / A. V. Kalach, A. A. Paramonov, and S. L. Sakharov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-3-44-52. – EDN HKBSAV.

4. Sokolov, S. V. New Optoelectronic Systems for Express Analysis of Seeds in Forestry Production / S. V. Sokolov, A. I. Novikov // Lesotekhnichesky Zhurnal. – 2019. – Vol. 9, No. 2(34). – Pp. 5-13. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.

5. Deep-learning approach for fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R. C. Bernardes, A. De Medeiros [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801. – DOI 10.3390/agriculture12111801.

6. Early growth of crops (*Pinus sylvestris* L. var. *Negorelskaya*) obtained from seeds with known spectrometric and morphometric parameters / T. P. Novikova [et al.] // *Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy*. – 2025. – № 255. – pp. 196-224. – DOI 10.21266/2079-4304.2025.255.196-224.

7. Prospects assessment of origins of scots pine in a changing climate / S. U. Rabko, L. F. Paplauskaya, P. V. Tupik [et al.] // 12–14 ноября 2025 года, 2025. – P. 119-121.

ОПТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СЕМЯН: ПРИМЕНЕНИЕ PROC GLM ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОРТИРОВАНИЯ

Т.П. Новикова^{1,2}, А.А. Богомолов¹, С.В. Кокорева¹, А.И. Новиков³

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

³ ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт (ФГБНУ АФИ)

Аннотация. В рамках цикла исследований по оптическому детектированию семян рассматривается применение процедуры PROC GLM (General Linear Models) в статистической обработке данных, полученных при комбинированной сортировке семян шпината по размеру и уровню хлорофилльной флуоресценции. Обсуждаются ограничения метода, включая необходимость тщательной подготовки данных и интерпретации взаимодействий факторов. Результаты демонстрируют потенциал PROC GLM для оптимизации процессов автоматической сортировки семян и повышения качества посевного материала.

Ключевые слова: оптическое детектирование семян, PROC GLM (General Linear Models), комбинированная сортировка, статистический анализ данных, качество семян, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

OPTICAL SEED DETECTION: APPLICATION OF PROC GLM FOR STATISTICAL DATA ANALYSIS IN ASSESSING THE EFFICIENCY OF COMBINED SORTING METHODS

T.P. Novikova^{1,2}, A.A. Bogomolov¹, S.V. Kokoreva¹, A.I. Novikov³

¹ Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

³Agrophysical Research Institute

Abstract. Within a series of studies on optical seed detection, the application of the PROC

GLM (General Linear Models) procedure for the statistical processing of data obtained from combined sorting of spinach seeds by size and chlorophyll fluorescence level is considered. The limitations of the method are discussed, including the necessity of thorough data preparation and interpretation of factor interactions. The results demonstrate the potential of PROC GLM for optimising automated seed sorting processes and improving the quality of seed material.

Keywords: optical seed detection, PROC GLM (General Linear Models), combined sorting, statistical data analysis, seed quality, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).

Введение

Методика PROC GLM, реализованная в программной среде статистических платформ, представляет собой процедуру (PROCedure) для построения общих линейных моделей (General Linear Models). В исследовании [1] она применялась для анализа влияния факторов (времени сбора урожая, уровня флуоресценции хлорофилла – SAT, размера семян) на отклики (всхожесть, среднее время прорастания – MGT), что имеет прямое значение для оценки эффективности селекционного улучшения высших растений. В частности, аналогичный подход может быть адаптирован для исследований сосны обыкновенной сорта «Негорельская» с целью объективной статистической оценки влияния сортовых характеристик репродуктивного материала на качество лесосеменного сырья и последующий рост лесных культур. Методика может быть использована при проектировании новых оптоэлектронных систем экспресс-анализа [2] и технических средств для обработки семян хвойных пород [3]. Кроме того, статистический анализ данных методами, аналогичными PROC GLM, важен для оценки эффективности таких технологических процессов, как сортирование семян сосны по цвету и размерам [4]. Этот статистический аппарат является логическим продолжением исследований, посвящённых экспресс-анализу семян биофизическими методами [6], и служит основой для анализа тенденций в развитии сортировальных устройств [7]. Ключевым аспектом для применения подобных моделей является наличие надёжных спектральных признаков, исследуемых, в частности, в видимом диапазоне для семян сосны обыкновенной [8,9].

Применение PROC GLM для статистического анализа данных

Преимущества PROC GLM для подобных исследований заключаются в следующем.

1. **Гибкость модельной спецификации.** Процедура позволяет строить комплексные модели с несколькими категориальными и непрерывными предик-

торами, а также тестировать их взаимодействия (например, SAT × Размер семени). Это критически важно для экспериментов с многофакторным дизайном, где необходимо оценивать не только главные эффекты, но и синергию между методами сортировки.

2. **Работа с несбалансированными данными.** Эксперименты с биологическим материалом (семенами разных размеров и степени зрелости) нередко приводят к несбалансированным планам – неравному числу наблюдений в группах. PROC GLM предоставляет методы (суммы квадратов типов I, II, III, IV) для корректного оценивания эффектов в таких условиях, что минимизирует смещение оценок.

3. **Расширенный дисперсионный анализ (ANOVA).** Процедура является стандартом для проведения многофакторного дисперсионного анализа, позволяя количественно оценить долю дисперсии отклика, объясняемую каждым фактором и их взаимодействиями. В работе Deleuran et al. это дало возможность точно установить, что размер семени (S) оказывает статистически значимое большее влияние на среднее время прорастания (MGT), чем уровень флуоресценции (SAT), в определённые сроки сбора урожая.

4. **Пост-хок тестирование и сравнение средних.** Интегрированные методы (тест Дункана, Тьюки и др.) позволяют проводить попарное сравнение средних значений по группам после обнаружения значимого главного эффекта в ANOVA. Это даёт наглядное, статистически обоснованное представление о том, какие именно группы (например, семена разных размерных категорий) достоверно различаются.

5. **Проверка модельных допущений.** Процедура включает диагностику остатков модели (проверка на нормальность и гомоскедастичность), что является обязательным этапом валидации результатов. Корректность выводов о значимости эффектов напрямую зависит от выполнения этих предпосылок.

Ограничения методики

- **Жёсткость линейных предположений.** Модель предполагает линейную зависимость между предикторами и откликом, а также аддитивность эффектов. Биологические процессы (например, прорастание) часто носят нелинейный, пороговый или сигмоидальный характер. PROC GLM может неадекватно моделировать такие сложные взаимосвязи без предварительных преобразований данных. Для анализа данных с нелинейными зависимостями (в том числе при работе с гиперспектральными изображениями или для детекции болезней семян

[5]) PROC GLM сегодня всё чаще дополняется или заменяется методами машинного и глубокого обучения.

- **Чувствительность к выбросам.** Как и многие методы наименьших квадратов, PROC GLM чувствителен к аномальным наблюдениям. Одно нестандартное семя с экстремальным значением флуоресценции или времени прорастания может непропорционально сильно повлиять на оценки модели и исказить выводы.

- **Ограниченность для работы с большими многомерными наборами данных [10].** В контексте современных оптических методов (спектральные гиперкубы с сотнями каналов) PROC GLM в своей базовой форме не предназначен для работы с высокоразмерными данными, где число предикторов (спектральных признаков) превышает число наблюдений ($p \gg n$). Это требует предварительного сокращения размерности (например, с помощью PCA), что выносит информационный отбор за рамки самой модели.

- **Отсутствие встроенных методов регуляризации.** В отличие от современных алгоритмов машинного обучения (LASSO, гребневая регрессия), PROC GLM не имеет механизмов регуляризации для борьбы с переобучением при работе с множеством коррелированных предикторов (что типично для спектральных данных). Это повышает риск получения нестабильных и труднокоррелируемых коэффициентов модели.

- **«Чёрный ящик» по сравнению с более простыми методами, но недостаточная гибкость по сравнению с современными.** Хотя модель предоставляет коэффициенты, её относительная сложность для исследователей, не имеющих глубокой статистической подготовки, может восприниматься как «чёрный ящик». При этом она существенно уступает в гибкости и автоматизации алгоритмам машинного обучения (случайный лес, градиентный бустинг), которые способны автоматически выявлять нелинейности и сложные взаимодействия без явной спецификации со стороны исследователя.

Заключение

Таким образом, использование PROC GLM было научно оправданным и соответствовало технологическому уровню 2010-х годов [1]. Данная методика позволяла проводить строгий статистический анализ для проверки конкретных гипотез о влиянии дискретных факторов на качество семян. PROC GLM не устарел, но занимает чёткую методологическую нишу. Он остаётся «золотым стандартом» для проверки априорных гипотез в контролируемых экспериментах с

чётко определёнными факторами, где важна интерпретируемость каждого эффекта (так называемая «белая» модель). В свою очередь, методы машинного обучения доминируют в задачах прогнозирования, классификации и поиска скрытых закономерностей в больших, слабоструктурированных или высокоразмерных данных (например, при прямом анализе гиперспектральных снимков). Их совместное или последовательное использование позволяет получить наиболее полную картину при исследовании сложных биологических систем для автоматического выявления скрытых паттернов в сквозных оптических данных.

Финансирование. Работа выполняется при поддержке гранта Санкт-Петербургского научного фонда, номер 25-РБ-06-15.

Список литературы

1. Deleuran L.C., Olesen M.H., Boelt B. Spinach seed quality: potential for combining seed size grading and chlorophyll fluorescence sorting. *Seed Science Research*. 2013, vol. 23, no. 4, pp. 271-278. <https://doi.org/10.1017/S0960258513000202>.
2. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве / С.В. Соколов, А.И. Новиков // *Лесотехнический журнал*. – 2019. – Т. 9. № 2 (34). – С. 5-13.
3. Перспективные технические средства для обработки семян хвойных пород / Л.Т. Свиридов, А.И. Новиков, Н.Д. Гомзяков // *Лесное хозяйство*. – 2007. – № 2. – С. 44-46.
4. Влияние сортирования семян сосны обыкновенной по цвету и размерам на их грунтовую всхожесть в контейнерах / А.И. Новиков // *Хвойные бореальной зоны*. – 2019. – Т. 37. № 5. – С. 313-319.
5. Deep-learning approach for Fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R. C. Bernardes, A. de Medeiros, L. da Silva, L. Cantoni, G. F. Martins, T. Mastrangelo, A. I. Novikov, C. B. Mastrangelo // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801.
6. Новиков, А. И. Экспресс-анализ лесных семян биофизическими методами: монография / А. И. Новиков. – Воронеж, 2018.
7. Новиков, А. И. Некоторые технологические особенности сортировальных устройств и тенденции их развития // *Лес и молодежь ВГЛТА – 2000 г.: материалы юбилейной научной конференции молодых ученых, посвященной 70-*

летию образования Воронежской государственной лесотехнической академии: в 2 т. – Воронеж, 2000. – С. 53–60.

8. Novikov, A. I. Visible wave spectrometric features of Scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 226, 2019. – P. 012064. – DOI 10.1088/1755-1315/226/1/012064.

9. Парамонов, А. А. Исследование структуры тропического циклона на основе анализа данных спутникового видеоряда с применением метода почти периодического анализа / А. А. Парамонов, А. В. Калач, А. С. Кравченко // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.

10. Калач, А. В. О возможностях применения метода почти-периодического анализа для обработки изображений / А. В. Калач, А. А. Парамонов, С. Л. Сахаров // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV.

References

1. Deleuran L.C., Olesen M.H., Boelt B. Spinach seed quality: potential for combining seed size grading and chlorophyll fluorescence sorting. Seed Science Research. 2013, vol. 23, no. 4, pp. 271-278. <https://doi.org/10.1017/S0960258513000202>.

2. Novikov, A. I. New optoelectronic systems for express analysis of seeds in forestry / A. I. Novikov, S. V. Sokolov // Forestry Engineering Journal. – 2019. – Vol. 9, No. 2 (34). – P. 5-13.

3. Sviridov, L. T. Promising technical means for the processing of coniferous seeds / L. T. Sviridov, A. I. Novikov, N. D. Gomzyakov // Forestry. – 2007. – No. 2. – P. 44-46.

4. Novikov, A. I. Influence of sorting Scots pine seeds by color and size on their ground germination in containers // Conifers of the Boreal Zone. – 2019. – Vol. 37, No. 5. – P. 313-319.

5. Bernardes, R. C. Deep-learning approach for Fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R. C. Bernardes, A. de Medeiros, L. da Silva, L. Cantoni, G. F. Martins, T. Mastrangelo, A. I. Novikov, C. B. Mastrangelo // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801.

6. Novikov, A. I. Express-analysis of forest seeds by biophysical methods: monograph / A. I. Novikov. – Voronezh, 2018.

7. Novikov, A. I. Some technological features of sorting devices and trends in their development // In: Forest and Youth of VGLTA – 2000. Proceedings of the Anniversary Scientific Conference of Young Scientists dedicated to the 70th anniversary of Voronezh State Forestry Academy: in 2 volumes. – 2000. – P. 53-60.
8. Novikov, A. I. Visible wave spectrometric features of Scots pine seeds: the basis for designing a rapid analyzer // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 226, 2019. – P. 012064. – DOI 10.1088/1755-1315/226/1/012064.
9. Paramonov, A. A. Research of the structure of a tropical cyclone based on the analysis of satellite video data using the almost periodic analysis method // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76.
10. Kalach, A. V. On the Possibilities of Applying the Almost-Periodic Analysis Method for Image Processing // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ IoT-СЕТЕЙ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В.Н. Палаткин¹, А.И. Заревич¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: В статье представлен комплексный анализ современных подходов к построению IoT-инфраструктуры для систем точного земледелия. Детально рассмотрены принципы работы и технические характеристики ключевых типов агросенсоров: датчиков pH, электропроводности (ЕС), объёмной влажности почвы (VWC) и температуры. Проведён сравнительный анализ методов измерения, выявлены преимущества и ограничения различных конструктивных решений. Особое внимание уделено вопросам энергоэффективности узлов сбора данных, архитектурным особенностям беспроводных сетей стандарта LoRaWAN и проблемам интеграции сенсорных систем с цифровыми агроплатформами. Предложена методика оценки достоверности данных от бюджетных сенсоров и алгоритм адаптивной калибровки. В заключении сформулированы перспективы развития агро-IoT, включая интеграцию с технологиями искусственного интеллекта, спутниковым мониторингом и предиктивной аналитикой.

Ключевые слова: точное земледелие, Интернет вещей, агросенсоры, датчик pH, электропроводность почвы, влажность почвы, LoRaWAN, LPWAN, энергоэффективность, цифровизация сельского хозяйства, предиктивная аналитика.

TECHNOLOGICAL ASPECTS AND PROSPECTS OF IMPLEMENTING IoT NETWORKS FOR PRECISION FARMING

V.N. Palatkin¹, A.I. Zarevich¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: The article presents a comprehensive analysis of modern approaches to building IoT infrastructure for precision farming systems. The operating principles and technical characteristics of key types of agro-sensors are examined in detail: pH sensors, electrical conductivity (EC), volumetric soil moisture (VWC), and temperature sensors. A comparative analysis of measurement methods is conducted, revealing the advantages and limitations of various design solutions. Particular attention

is paid to energy efficiency issues of data collection nodes, architectural features of LoRaWAN wireless networks, and problems of integrating sensor systems with digital agricultural platforms. A methodology for assessing data reliability from budget sensors and an adaptive calibration algorithm are proposed. The conclusion formulates prospects for the development of agro-IoT, including integration with artificial intelligence technologies, satellite monitoring, and predictive analytics.

Keywords: precision farming, Internet of Things, agro-sensors, pH sensor, soil electrical conductivity, soil moisture, LoRaWAN, LPWAN, energy efficiency, digital agriculture, predictive analytics.

Введение

Современное сельское хозяйство вступило в эпоху беспрецедентных вызовов. Рост мирового населения, требующий увеличения объемов производства продовольствия на 70% к 2050 году, изменение климата, сопровождающееся засухами и опустыниванием, а также деградация почвенных ресурсов – все это требует принципиально новых, научно-обоснованных подходов к управлению агропроизводством. Традиционные методы, основанные на усредненных нормах внесения удобрений и полива, зачастую неэффективны и приводят к перерасходу ресурсов и нанесению вреда окружающей среде.

В этом контексте технологии точного земледелия (Precision Agriculture), базирующиеся на сборе и анализе пространственно-распределенных данных о состоянии полей, становятся не просто перспективным направлением, а стратегической необходимостью для устойчивого развития отрасли. Ключевым технологическим фундаментом, обеспечивающим реализацию концепции точного земледелия, выступает Интернет вещей (IoT).

1. Архитектура IoT-систем в агрономии

Переходя к рассмотрению технической реализации, отметим, что любая современная система агро-IoT представляет собой сложную, иерархическую структуру. Типовая архитектура (рис. 1) включает в себя три основных уровня: физический уровень сенсоров и исполнительных устройств (сенсорный уровень), уровень сетевой инфраструктуры для передачи данных (сетевой уровень) и уровень обработки, хранения и визуализации информации (прикладной уровень или уровень облачных платформ).

Типовая архитектура агро-IoT представляет собой многоуровневую систему (рис. 1):

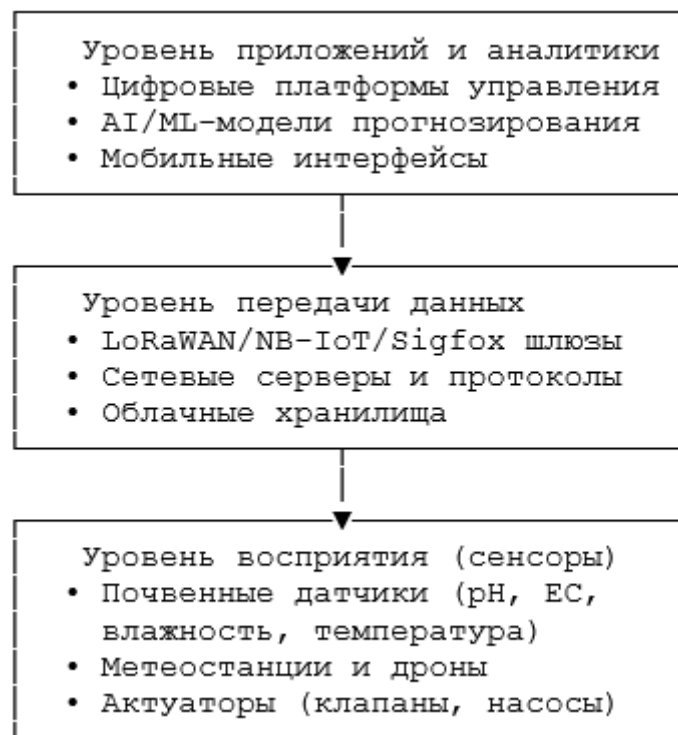


Рисунок 1 – Трёхуровневая архитектура агро-IoT системы

Как видно из схемы, ключевым элементом, от которого зависит качество и надежность работы всей системы, является сенсорный уровень. Именно здесь происходит первичный контакт с объектом измерения – почвой. Погрешности, возникшие на этом этапе, не могут быть скомпенсированы впоследствии никакими, даже самыми совершенными, алгоритмами обработки данных. Поэтому далее мы детально рассмотрим физические принципы работы, конструктивные особенности и технические характеристики основных типов агросенсоров.

2. Технический анализ агросенсоров

2.1. Датчики кислотности (рН) почвы

Измерение рН является одной из наиболее важных диагностических задач в агрономии, поскольку доступность практически всех питательных элементов для растений подчиняется строгой нелинейной зависимости от кислотности почвенного раствора (табл. 1). Отклонение рН от оптимального диапазона блокирует усвоение элементов даже при их высоком валовом содержании в почве.

Классическим и наиболее точным методом измерения рН является потенциометрия с использованием стеклянного электрода. Его работа основана на возникновении разности потенциалов на тонкой стеклянной мембране, селективной к ионам водорода. Эта зависимость описывается уравнением Нернста:

$$E = E^0 - \frac{2.303 \cdot R \cdot T}{F} \cdot pH$$

где:

- E – измеряемый потенциал, мВ;
- E^0 – стандартный потенциал электрода;
- R – универсальная газовая постоянная (8.314 Дж/(моль·К));
- T – абсолютная температура, К;
- F – постоянная Фарадея (96485 Кл/моль).

Таблица 1. Влияние pH на доступность питательных элементов.

Элемент	Оптимальный диапазон pH	Последствия отклонения
Азот (N)	6.0–7.5	Снижение нитрификации при pH < 5.5
Фосфор (P)	6.0–7.0	Образование нерастворимых соединений при pH < 5.0 или > 7.5
Калий (K)	5.5–7.5	Конкурентное поглощение с Ca^{2+} и Mg^{2+} при экстремальных значениях
Микроэлементы	5.5–6.5	Дефицит Fe, Mn, Zn при pH > 7.0

При 25°C температурный коэффициент составляет ≈ 59.16 мВ/pH. Это означает, что изменение температуры всего на 1°C может привести к погрешности в 0.2 единицы pH, если не вносить поправку. Данный факт делает обязательным наличие функции автоматической температурной компенсации в полевых pH-метрах, работающих в условиях суточных и сезонных колебаний температур.

Сравнение технологий pH-сенсоров.

Таблица 2. Сравнительная характеристика технологий измерения pH

Параметр	Стеклянный электрод	ISFET	Твердотельный
Точность	± 0.01 –0.1 pH	± 0.05 –0.2 pH	± 0.1 –0.3 pH
Стабильность	Высокая (при калибровке)	Средняя	Низкая
Срок службы	1–3 года	6–18 месяцев	3–12 месяцев
Стоимость	Высокая	Очень высокая	Низкая
Устойчивость к механическим воздействиям	Низкая	Средняя	Высокая

Выбор конкретного типа рН-метра, как следует из таблицы 2, должен определяться задачами мониторинга. Для агрономических исследований, где требуется эталонная точность, оптимальны стеклянные электроды. Для создания плотных сетей датчиков на коммерческих полях более прагматичным решением могут стать твердотельные сенсоры, несмотря на их ограниченный ресурс, так как это окупается возможностью массового охвата территории.

Более того, кислотность почвы напрямую влияет на растворимость солей, а следовательно, и на показания ЕС-сенсоров. В кислых или щелочных почвах многие питательные элементы переходят в недоступные формы, что искажает картину «реального» плодородия, отражаемую электропроводностью. Именно поэтому интерпретацию данных ЕС всегда рекомендуется проводить в комплексе с показаниями рН-метров.

Однако для полноценной оценки состояния почвы данных только о кислотности недостаточно. Не менее важным показателем, особенно при управлении поливом и внесении удобрений, является электропроводность. Перейдем к анализу технологий измерения этого параметра.

2.2. Датчики электропроводности (ЕС)

Если рН показывает химическое состояние почвы, то электропроводность (ЕС) является интегральным показателем ее «плодородия» в части минерального питания. ЕС коррелирует с концентрацией растворимых солей, в том числе ионов азота, калия, кальция, магния, и широко используется для картирования полей и зонирования территории.

Физически электропроводность почвы рассчитывается по формуле:

$$EC = \frac{1}{R_{soil} \cdot K} \cdot f(T)$$

где K – геометрическая константа электродов, $f(T)$ – температурная компенсация (обычно приводится к 25°C).

Однако на пути практической реализации этого измерения стоит серьезная проблема – большой динамический диапазон изменения сопротивления почвы: от 10 Ом (сильно увлажненная засоленная почва) до 10 МОм (сухая песчаная почва). Измерять такие сопротивления с приемлемой точностью одной и той же схемой невозможно. Для решения этой задачи применяется метод адаптивного усиления или автоматического выбора диапазона, который можно описать следующим алгоритмом:

Алгоритм адаптивного измерения ЕС:

1. Предварительное измерение с низким током (I_1)
2. Если $V_{sense} < V_{min} \rightarrow$ увеличить ток в $10\times$
3. Если $V_{sense} > V_{max} \rightarrow$ уменьшить ток в $10\times$
4. Повторить измерение с оптимальным током
5. После получения значения ЕС необходимо привести его к стандартной температуре (обычно 25°C), так как электропроводность растворов сильно зависит от температуры. Коррекция проводится по формуле:

$$EC_{25} = EC_t / [1 + \alpha \cdot (t - 25)]$$

где $\alpha \approx 0.019\text{--}0.023\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ для почвенных растворов

Реализация такого алгоритма на микроконтроллере сенсорного узла позволяет автоматически подстраиваться под изменяющиеся условия почвы (например, после полива или дождя сопротивление может упасть в тысячи раз), обеспечивая точность измерений во всём рабочем диапазоне без участия человека.

2.3. Датчики влажности почвы

Влажность – это, пожалуй, самый востребованный параметр в системах автоматического полива. Среди множества методов измерения влажности в современных автономных IoT-системах доминируют ёмкостные датчики благодаря их низкому энергопотреблению, отсутствию движущихся частей и приемлемой точности. Принцип их действия основан на измерении диэлектрической проницаемости среды ϵ , которая для воды ($\epsilon \approx 80$) значительно выше, чем для сухого скелета почвы ($\epsilon \approx 3\text{--}5$) и воздуха ($\epsilon = 1$).

Связь между измеренной диэлектрической проницаемостью и объемной влажностью (θ , $\text{см}^3/\text{см}^3$) не является линейной. Наиболее известной является эмпирическая формула, предложенная Торр и соавторами:

$$\sqrt{\epsilon} = 3.03 + 9.3\theta + 146.0\theta^2 - 76.7\theta^3$$

Однако универсальность этой формулы ограничена. На точность измерения существенно влияют факторы, специфичные для конкретного поля:

- Содержание органического вещества;
- Гранулометрический состав и плотность почвы;
- Температура;
- Концентрация солей (влияние на диэлектрические потери ϵ воды).

Рекомендуется проводить локальную калибровку для каждого типа почв:

$$\theta_{corr} = a \cdot \theta_{raw} + b$$

где коэффициенты a , b определяются по эталонным значениям путем сопоставления сырых показаний датчика с эталонными значениями влажности, полученными термостатно-весовым (гравиметрическим) методом для образцов почвы из мест установки датчиков.

На практике для определения коэффициентов a и b достаточно отобрать 5-10 образцов почвы в диапазоне от сухой до полностью насыщенной влагой, провести гравиметрический анализ и построить линейную регрессию. Это позволит снизить погрешность измерений с $\pm 5-7\%$ до $\pm 1-2\%$.

2.4. Температурные датчики

Измерение температуры почвы необходимо не только как самостоятельный агрономический параметр (влияющий на скорость прорастания семян и активность микрофлоры), но и как обязательный компонент компенсационных алгоритмов для pH- и ЕС-сенсоров, как было показано выше. В этом качестве удобно использовать цифровые датчики типа DS18B20. Они обеспечивают заводскую точность $\pm 0.5^\circ\text{C}$ при программно-выбираемом разрешении до 0.0625°C . Важнейшим преимуществом для распределенных систем является возможность подключения до 127 таких датчиков на одну двухпроводную шину 1-Wire, что позволяет значительно снизить стоимость кабельной инфраструктуры и упростить масштабирование сети.

3. Беспроводные технологии передачи данных

После того, как данные от сенсоров получены и оцифрованы, возникает задача их надежной и энергоэффективной передачи с удаленных полевых участков на центральный сервер. Выбор конкретной беспроводной технологии является ключевым компромиссом между дальностью, скоростью, энергопотреблением и стоимостью.

3.1. Сравнение LPWAN-технологий

Для задач мониторинга больших территорий с рассредоточенными объектами, где требуется передавать небольшие объемы данных несколько раз в сутки, оптимальным классом решений являются технологии LPWAN (Low-Power Wide-Area Network). Рассмотрим их основные характеристики в сравнении.

Как видно из таблицы, каждая технология имеет свою нишу. Однако для большинства задач автономного мониторинга полей наиболее сбалансирован-

ным решением на сегодняшний день является LoRaWAN. Она обеспечивает уникальное сочетание большой дальности, низкого энергопотребления (а значит, многолетней работы от батарей) и использования бесплатного нелицензируемого частотного диапазона.

Таблица 3. Сравнительный анализ LPWAN-технологий для агро-IoT

Параметр	LoRaWAN	NB-IoT	Sigfox	Zigbee
Дальность (сельская местность)	5–15 км	1–10 км	10–40 км	0.1–1 км
Скорость передачи	0.3–50 кбит/с	20–250 кбит/с	100 бит/с	20–250 кбит/с
Потребление (передача)	30–100 мА	50–150 мА	20–50 мА	15–40 мА
Срок работы от батареи	5–10 лет	3–7 лет	5–10 лет	1–3 года
Стоимость узла	\$10–30	\$15–40	\$20–35	\$5–15
Лицензирование	ISM (бесплатно)	Лицензированные частоты	ISM	ISM

3.2. Особенности развёртывания LoRaWAN

Несмотря на очевидные преимущества, успешное развёртывание сети LoRaWAN требует тщательного планирования, основанного на расчетах бюджета радиоканала. Бюджет канала определяет, какая мощность сигнала достигнет приемника, и рассчитывается по формуле:

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{fs} - L_{other}$$

где:

- P_{tx} – мощность передатчика (до +20 дБм);
- G_{tx} , G_{rx} – усиление антенн;
- L_{fs} – потери в свободном пространстве: $20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.44$ (d в км, f в МГц);
- L_{other} – дополнительные потери (растительность, рельеф: 10–30 дБ).

Для частоты 868 МГц и дальности 10 км: $L_{fs} \approx 112$ дБ, что требует чувствительности приёмника не хуже –130 дБм (достижимо при SF12 в LoRa).

Для частоты 868 МГц и дальности 10 км потери в свободном пространстве L_{fs} составят ≈ 112 дБ. Учитывая, что мощность передатчика обычно составляет +14 дБм, а чувствительность приемника LoRa может достигать –137 дБм при использовании максимального коэффициента расширения спектра (SF12), теоретический запас в 25–30 дБ позволяет компенсировать дополнительные потери на растительности и рельефе (L_{other}), которые могут достигать 10–30 дБ.

Рекомендации по планированию сети

1. Размещать шлюзы на возвышенностях для минимизации затенения
2. Использовать адаптивный коэффициент расширения (ADR) для оптимизации энергопотребления
3. Реализовать резервирование: каждый узел должен «видеть» минимум 2 шлюза

Таким образом, при грамотном планировании сети LoRaWAN способна обеспечить надёжную связь на расстояниях до 10-15 км даже в условиях пересечённой местности с лесополосами, что полностью покрывает потребности большинства сельскохозяйственных предприятий.

4. Повышение достоверности данных

Как было отмечено во введении, одним из главных барьеров на пути внедрения агро-IoT является сомнение в достоверности данных, получаемых от недорогих, массовых сенсоров. Дрейф характеристик, загрязнение электродов, несовершенство калибровки – все это может приводить к ошибкам, способным свести на нет все преимущества цифрового управления. Рассмотрим методы борьбы с этими явлениями.

4.1. Методика валидации бюджетных сенсоров

Для обеспечения качества данных предлагается внедрение обязательного трёхэтапного протокола валидации, подлежащего применению на всём протяжении жизненного цикла сенсорной системы.

1. Лабораторная верификация. На этапе ввода в эксплуатацию каждый датчик (либо репрезентативная выборка из партии) подвергается тестированию в контролируемых условиях. Показания сенсора сопоставляются с эталонным лабораторным оборудованием во всём рабочем диапазоне значений – для различных буферных растворов (рН), эталонных растворов солей (ЕС) или почвенных образцов с известной влажностью. Такая процедура позволяет отбраковать неисправные изделия и получить исходные калибровочные коэффициенты.

2. Полевая калибровка. После установки на поле, по истечении 1–2 недель стабилизации, производится отбор почвенных проб в непосредственной близости от каждого датчика. Результаты лабораторного анализа этих проб принимаются за «золотой стандарт», с которым сравниваются текущие показания сенсоров. Обнаруженные систематические расхождения используются для уточнения калибровочных зависимостей.

3. Перекрёстная проверка (кросс-валидация). В процессе эксплуатации аномалии выявляются благодаря избыточности данных и пространственной корреляции. Если, например, показания одного датчика влажности начинают резко расходиться с показаниями двух-трёх соседних датчиков при отсутствии осадков и полива, это с высокой вероятностью сигнализирует о его неисправности. Для автоматизации такого выявления применяются статистические методы – анализ z-оценок или межквартильного размаха (IQR).

Рекомендуемая периодичность выполнения процедур: лабораторная верификация – однократно при вводе в эксплуатацию; полевая калибровка – ежегодно перед началом сезона; перекрёстная проверка – ежедневно в автоматическом режиме.

4.2. Алгоритм адаптивной компенсации дрейфа

Помимо внезапных отказов, существует проблема постепенного дрейфа параметров сенсоров, особенно химических (рН-электроды). Для компенсации медленного дрейфа в долгосрочном мониторинге можно применять алгоритмы адаптивной фильтрации. Мы предлагаем использовать рекурсивную экспоненциально-взвешенную коррекцию, которая подстраивает базовую линию с учетом редко проводимых контрольных измерений:

$$C_t = \alpha \cdot C_{t-1} + (1 - \alpha) \cdot (M_t - B_t)$$

где:

- C_t – скорректированное значение;
- M_t – сырое измерение;
- B_t – оценённый дрейф базовой линии;
- α – коэффициент сглаживания (0.9–0.99).

Коэффициент сглаживания α выбирается близким к 1 (например, 0.95–0.99), что обеспечивает высокую инерционность фильтра и защиту от случайных выбросов, но при этом позволяет медленно подстраиваться под дрейф.

5. Интеграция с аналитическими платформами

Конечная цель внедрения рассмотренных технологий – это не просто сбор данных, а превращение их в ценный ресурс для управления сельскохозяйственным производством. Современные агро-IoT системы эволюционируют от простого описательного мониторинга (что происходит?) к диагностическому (почему происходит?), а затем и к предиктивному (что произойдет?) и, наконец, к прескриптивному (что нужно сделать?) управлению.

Например, на основе данных об осадках (метеостанция), текущей влажности почвы (IoT-сенсоры) и прогноза погоды модель машинного обучения может с вероятностью до 85% предсказать оптимальный день для начала посевных работ или дать рекомендацию отложить полив на 3 дня в связи с ожидаемыми осадками, экономя до 30% воды.

Ключевые направления такой эволюции:

- Машинное обучение для прогнозирования: модели на основе градиентного бустинга и рекуррентных нейросетей для предсказания динамики влажности, риска заболеваний

- Цифровые двойники полей: создание виртуальных моделей, отражающих пространственную вариабельность параметров и позволяющих тестировать сценарии управления

- Интеграция с дистанционным зондированием: совместный анализ данных IoT-сенсоров и спутниковых индексов (NDVI, NDWI) для повышения точности рекомендаций

Заключение

Проведенный комплексный анализ современных технологий и подходов к построению IoT-сетей для точного земледелия позволяет сделать вывод о высоком потенциале их применения для повышения эффективности и устойчивости агропроизводства. Однако путь к массовому внедрению лежит через решение ряда технических и методологических задач. Резюмируя вышесказанное, можно выделить ключевые факторы успеха внедрения:

Перспективы развития связаны с конвергенцией IoT, искусственного интеллекта и спутниковых технологий, что позволит создать адаптивные агроэко-системы, способные автоматически оптимизировать использование ресурсов в ответ на изменяющиеся условия. Для ускорения внедрения необходимы стандартизация интерфейсов сенсоров, развитие отечественных решений в области агроэлектроники и подготовка кадров, сочетающих агрономические и IT-компетенции.

Реализация описанных подходов позволит не только повысить эффективность сельскохозяйственного производства, но и сделать его более экологичным и устойчивым к климатическим изменениям, что соответствует глобальным целям устойчивого развития.

Список литературы

1. Гончаров Р.Д. Перспективы применения IoT-технологий в мониторинге сельскохозяйственной техники: разработка и апробация платформы «Агротрек» // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2025. – № 3 (59).
2. Сибиряев А.С., Зазимко В.Л., Додов Р.Х. Цифровая трансформация и цифровые платформы в сельском хозяйстве // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 12.
3. Кобозева Е.М., Добрик С.Г. Влияние технологий интернета вещей на трансформационные процессы в различных отраслях экономики // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. – 2025. – № 1 (355).
4. Поляков В.В. Экоориентированная цифровизация агропроизводственной деятельности в рамках концепта «Сельское хозяйство 4.0» // Экономика и экология территориальных образований. – 2023. – № 1.
5. Рыбин В.Г., Пестерев Д.О., Копец Е.Е., Тутуева А.В. Встраиваемая система удаленного мониторинга состояния пасеки // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – № 97.
6. Даюб Н. Уровень использования цифровых технологий в сельском хозяйстве России // Друкеровский вестник. – 2023. – № 3 (53).
7. Назаров Д.М., Бегичева С.В., Копнин А.А. Большие языковые модели (LLM): новый этап цифровой трансформации агропромышленного комплекса России // Аграрный вестник Урала. – 2025. – № 7.
8. Москалев С.М., Клименок-Кудинова Н.В. Искусственный интеллект и интернет вещей как инновационные методы совершенствования агропромышленного сектора // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 52.
9. Mishra D., Singh R., Tripathi S. IoT-based soil monitoring systems for smart agriculture: A comprehensive review // Computers and Electronics in Agriculture. – 2022. – Vol. 198. – P. 107099.
10. Gutiérrez J., Villa-Medina J. F., Nieto-Garibay A., Porta-Gándara M. Á. Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2014. – Vol. 63, No. 1. – P. 166–176.

References

1. Goncharov R.D. Prospects for the Application of IoT Technologies in Agricultural Machinery Monitoring: Development and Testing of the Agrotrack Platform // Bulletin of the Omsk State Agrarian University. – 2025. – No. 3 (59).
2. Sibiryayev A.S., Zazimko V.L., Dodov R.Kh. Digital Transformation and Digital Platforms in Agriculture // Bulletin of the NGIEE. – 2020. – No. 12.
3. Kobozeva E.M., Dobrik S.G. The Impact of Internet of Things Technologies on Transformation Processes in Various Economic Sectors // Bulletin of the Adyghe State University. Series 5: Economics. – 2025. – No. 1 (355).
4. Polyakov V.V. Eco-oriented Digitalization of Agro-Production Activities within the Framework of the "Agriculture 4.0" Concept // Economics and Ecology of Territorial Entities. – 2023. – No. 1.
5. Rybin V.G., Pesterev D.O., Kopets E.E., Tutueva A.V. Embedded System for Remote Monitoring of Beehive Condition // Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products. – 2018. – No. 97.
6. Dayub N. The Level of Use of Digital Technologies in Russian Agriculture // Drukerovsky Bulletin. – 2023. – No. 3 (53).
7. Nazarov D.M., Begicheva S.V., Kopnin A.A. Large Language Models (LLM): A New Stage in the Digital Transformation of Russia's Agro-Industrial Complex // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2025. – No. 7.
8. Moskalev S.M., Klimenok-Kudinova N.V. Artificial Intelligence and the Internet of Things as Innovative Methods for Improving the Agro-Industrial Sector // Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University. – 2018. – No. 52.
9. Mishra D., Singh R., Tripathi S. IoT-based soil monitoring systems for smart agriculture: A comprehensive review // Computers and Electronics in Agriculture. – 2022. – Vol. 198. – P. 107099.
10. Gutiérrez J., Villa-Medina J. F., Nieto-Garibay A., Porta-Gándara M. Á. Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2014. – Vol. 63, No. 1. – P. 166–176.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ТОВАРНЫХ ЗНАКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

К.В. Переславцев¹, В.И. Анциферова¹, Р.О. Пташник¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Рассмотрена формальная модель конвейера генерации товарных знаков на базе нейросетей: кодирование брифа, генерация кандидатов, автоматическая оценка соответствия, оригинальности и пригодности к масштабированию, последующая векторизация и правовая проверка. Приведены воспроизводимые метрики и данные исследований по оценке качества text-to-image моделей и практикам обучения в графическом дизайне.

Ключевые слова: товарный знак; генеративные модели; диффузионные модели; GAN; CLIP; оценка качества; моделирование процесса, нейросети, ИИ.

MODELING THE TRADEMARK GENERATION PROCESS USING NEURAL NETWORKS

K. V. Pereslavitsev¹, V. I. Antsiferova¹, R. O. Ptashnik¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov

Abstract. A formal model of a neural trademark-generation pipeline is described: brief encoding, candidate generation, automatic scoring for intent match, novelty and small-scale legibility, followed by vectorization and legal screening. Reproducible metrics and recent evidence on text-to-image evaluation and design-education practices are summarized.

Keywords: trademark; generative models; diffusion; GAN; CLIP; quality evaluation; process modeling, neural networks, AI.

Введение

Развитие технологий в сфере нейронных сетей позволяет автоматизировать процесс создания товарных знаков. Данное новшество открывает возможность с одной стороны усовершенствовать и ускорить принятие творческих решений, и с другой стороны эффективнее и результативнее оценивать их стоимость в качестве нематериального актива на балансе компании.

Основным инструментом дизайнеров в настоящее время все еще остаются пакеты «Adobe», а именно «Illustrator» и «Photoshop», также ряд других программ, такие как «CorelDraw», «Figma» и другие. По данным платформы «Looka», в 2025 году с использованием ИИ-генераторов создаётся более 1,2 млн логотипов ежемесячно, что говорит об активном применении новейших методов и способов в создании товарных знаков [1].

Публикации по генеративному дизайну преимущественно описывают две различные архитектуры моделей – генеративно-состязательные сети (GAN) и диффузионные модели (diffusion) [2].

Постановка задачи и входные данные

При применении нейросетей для создания изображения в первую очередь формируется постановка задачи с последующими за ней входными данными. Они включают в себя:

- текстовой бриф;
- отрасль;
- ограничения по элементам дизайна (текст, цвет и т.д.);
- геометрия;
- референсы.

Выходными данными будут являться множество кандидатных знаков в растровом виде с оценками и возможностью экспорта в другие форматы после векторизации изображения. Данная постановка задачи соответствует описанию систем использующих только выборку вариантов как пространство для поиска решений.

Модель процесса

Моделирование процесса изображения выглядит следующим образом. В первую очередь формируется композиция модулей:

$$M = \{E, G, S, N, V, L\},$$

где E – кодировщик брифа в эмбединги, G – генератор изображений, S – модуль соответствия, N – модуль новизны, V – векторизация, L – правовой скрининг [3].

«Модуль S» опирается на cosine-сходства в пространстве CLIP-эмбеддингов и reference-free метрику, где измеряется семантическая согласованность текст-изображение.

«Модуль N» применяется для поиска ближайших соседей по перцептуальным признакам в базе известных логотипов.

«Модуль L» анализирует созданное изображение на предмет степени смещения, проверяет не нарушает ли знак действующие регистрации и можно ли зарегистрировать его в конкретной юрисдикции.

Моделирование генерации изображения используется модульный принцип декомпозиции процесса, как аналогичный подходу, который реализован в системах поддержки принятия решений. В работе Юрчишиной М. В. показано, что функциональная структура системы должна включать модули, оптимизации, формирования системы ограничений и выбор решения по критерию оптимальности [4].

Оценка качества и критерии отбора

Оценка качества происходит через систему количественного ранжирования. Интегральный балл ранжирования задается следующим образом:

$$Score = w_1 * Match + w_2 * Novelty + w_3 * Legibility + w_4 * Simplicity,$$

где Match (соответствие брифу) вычисляется по CLIP метрикам, Legibility (читаемость) – по деградации при изменении размера, измерении потери контраста и проверке разрыва контуров, Novelty (новизна) – по отличию от существующих изображений, Simplicity (простота) – по числу компонентов и доминирующим цветам.

В результате проведенной конференции «CVRP 2024» были предложены многоаспектные разметки человеческой обратной связи для «text-to-image», включая атрибутируемые ошибки или артефакты, что применимо для обучения и калибровки модулей S и V [5].

Одно из исследований по оценке эстетической характеристики изображений отмечают шумность эстетических меток и культурную вариативность восприятия. Исследования так же показывают, что эстетическая оценка субъективна и зависит от культуры. Но в то же время воспроизводимых данных недостаточно, чтобы оценить сгенерированные логотипы по критериям эстетики [6].

Примеры образовательных практик

В публикации «Case study 2025» для учебного модуля используется задание по интеграции нейросети в обучение по одному из образовательных курсов. Задание представляет собой редизайн логотипа существующего бизнеса. Студентам необходимо провести исследование бренда, сгенерировать черновые варианты и задокументировать итерации и аргументации по композиции и типографике [7].

Распространенность использования нейросетей среди студентов подтверждают опросы. Аналитический центр «NEPI» зафиксировал, что около 92% студентов в Великобритании используют нейросети в обучении [8]. Похожее университетское исследование в США «UCLA» опубликовали данные о 73% респондентов, сообщили об использовании ии-инструментов для учебы [9].

Заключение

Процесс генерации логотипов с последующих превращением их в товарные знаки формализован в качестве модульной архитектуры М. Такая структура переводит процедуру разработки товарного знака из эвристической с воспроизводимую модель.

Выбор «CLIP» метрик для оценки качества обоснован их способностью измерять семантическую согласованность текст-изображения без конкретного примера.

Анализ современных публикаций показывает, что автоматические метрики недостаточны, что подтверждает необходимость двухуровневой системы оценки. Включение правового скрининга отражает специфику товарного знака, как объекта охраны и отличает предложенную схему от общих систем «text-to-image» генерации.

Результаты опросов позволяют рассматривать генерацию логотипов как процесс, поддающийся оценке и измерению по параметрам качества и юридической допустимости. Ограничением остается только отсутствие исследований, сравнивающие эффективность архитектур «GAN» и «diffusion» в разработке товарных знаков.

Список литературы

1. AI Logo Generator Statistics // SEOSandwitch. URL: <https://seosandwitch.com/ai-logo-generator-statistics> (дата обращения: 10.02.2026).

2. Чуликарн Н., Крикчайван К., Течаджиндавонг Ч., Арджитнупап Т., Сириборворнратанакул Т. Проектирование логотипов с использованием генеративных моделей // Труды 7-й Международной конференции по сервисам больших данных и интеллектуальным вычислениям (BDSIC 2025). 2025. DOI: 10.1145/3778265.3778270.
3. Хессел Д., Хольцман А., Форбс М., Ле Бра Р., Чой Ё. CLIPScore: эталон-независимая метрика оценки подписей к изображениям // Материалы конференции по эмпирическим методам обработки естественного языка (EMNLP). 2021.
4. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.
5. Лян Ж., и др. Богатая человеческая обратная связь для генерации изображений по тексту // Материалы конференции IEEE/CVF по компьютерному зрению и распознаванию образов (CVPR). 2024.
6. Гонсалес-Нахарро Л., Флорес М. Х., Мартинес-Гомес Х., Пуэрта Х. М. Анализ оценки эстетики изображений как задачи положительно-неразмеченного обучения // Signal Processing: Image Communication. 2026. Т. 141. Ст. 117441. DOI: 10.1016/j.image.2025.117441.
7. Интеграция искусственного интеллекта в обучение графическому дизайну: анализ практического кейса // Journal of Educational Issues. 2025.
8. Student Generative AI Survey 2025 // Higher Education Policy Institute (HEPI). 2025. URL: <https://www.hepi.ac.uk/reports/student-generative-ai-survey-2025/> (дата обращения: 10.02.2026).
9. Использование искусственного интеллекта студентами UCLA: результаты опроса // UCLA Teaching and Learning Center. URL: <https://teaching.ucla.edu/news/ucla-student-ai-use-perspectives/> (дата обращения: 10.02.2026).

References

1. AI Logo Generator Statistics // SEOSandwich. Available at: <https://seosandwich.com/ai-logo-generator-statistics> (accessed: 18.02.2026).
2. Chuleekarn N., Krirkchaiwan K., Techajindawong C., Arjitnupap T., Siri-borvornratanakul T. Designing Logo with Generative Models // Proc. 2025 7th Int.

Conf. on Big-data Service and Intelligent Computation (BDSIC 2025). 2025. DOI: 10.1145/3778265.3778270.

3. Hessel J., Holtzman A., Forbes M., Le Bras R., Choi Y. CLIPScore: A Reference-free Evaluation Metric for Image Captioning // Proc. 2021 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). 2021.

4. Yurchishina M.V., Bushmeleva K.I. Algorithmic Model of the Decision Support System “Optimal Curriculum” // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 84–95. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. EDN OJFBGD.

5. Liang R. et al. Rich Human Feedback for Text-to-Image Generation // Proc. IEEE/CVF Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2024.

6. Gonzalez-Naharro L., Flores M.J., Martínez-Gómez J., Puerta J.M. Analysis of Image Aesthetics Assessment as a Positive-Unlabelled Problem // Signal Processing: Image Communication. 2026. Vol. 141. Art. 117441. DOI: 10.1016/j.image.2025.117441.

7. Case Study: Integrating AI in Graphic Design Education // Journal of Educational Issues. 2025.

8. Student Generative AI Survey 2025 // Higher Education Policy Institute (HEPI). 2025. Available at: <https://www.hepi.ac.uk/reports/student-generative-ai-survey-2025/> (accessed: 10.02.2026).

9. UCLA Student AI Use Perspectives // UCLA Teaching and Learning Center. Available at: <https://teaching.ucla.edu/news/ucla-student-ai-use-perspectives/> (accessed: 10.02.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ И ДИФфуЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

К.В. Переславцев¹, В.И. Анциферова¹, Н.А. Чиркин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе формализован процесс генерации изображений в рамках двух архитектурных парадигм – генеративно-состязательной и диффузионной. Проведён количественный анализ вычислительной сложности с использованием показателей числа шагов инференса и оценки FLOPs, а также качественное сопоставление моделей по устойчивости обучения, склонности к коллапсу мод, интерпретируемости латентного пространства и масштабируемости.

Ключевые слова: генеративные модели; GAN; diffusion models; вычислительная сложность; FID; моделирование процесса; генерация изображений.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ADVERSARIAL AND DIFFUSION MODELS FOR IMAGE GENERATION

K.V. Pereslavitsev¹, V.I. Antsiferova¹, N.A. Chirkin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper presents a formalized model of the image generation process within two architectural paradigms: generative adversarial networks and diffusion-based models. A quantitative comparison is conducted using inference step count and FLOPs estimation, accompanied by a qualitative analysis of training stability, mode collapse susceptibility, latent space interpretability, and scalability.

Keywords: generative models; GAN; diffusion models; computational complexity; FID; process modeling; image generation.

Введение

Современный подход к созданию товарных знаков можно разделить на два уровня, а именно прикладной и технологический. Прикладной уровень – это набор реальных инструментов дизайнера, которые используются для решения

практический задач. К таким можно отнести программное обеспечение по созданию (пакеты Adobe, Corel Draw и др.) и чертежные инструменты.

На технологическом уровне рассматриваются генеративные модели, которые лежат в основе ИИ-инструментов для создания изображений и визуализации. У каждого инструмента своя уникальная архитектура, их количество составляет 4 вида. К ним относятся:

- Генеративно-состязательные сети («GAN»);
- Диффузионные модели («Diffusion Models»);
- Вариационные автоэнкодеры («VAE»);
- Трансформерные архитектуры («Transformer»).

Сравнительный анализ

Формализация процесса генерации изображений рассматривается как построение алгоритмической модели, описывающей переход от входного распределения данных к целевому пространству изображений, что соответствует подходам системного моделирования, представленным в работах о моделировании процессов [1].

В настоящее время «VAE» и «Transformer» практически не используются как самостоятельные ядра архитектур [2]. Вариационные автоэнкодеры активно применяются в качестве латентного энкодера. К примеру, «VAE» используется для сжатия изображения в латентное пространство, затем активируют диффузионную модель в нем.

Архитектура «Transformer» уступила по качеству и стабильности «GAN» и «Diffusion» моделям. В некоторых инструментах он используется как условный блок. Трансформерные архитектуры активируют в «Stable Diffusion» и «DALL E 3» для текстового энкодера и «attention-блоков» внутри [3].

GAN-сети и диффузионные модели наиболее активно используются для создания изображений, и в частности генерации логотипов. С другой стороны, в последнее время «DM» превзошли по качеству и эффективности «GAN», но их использование связано с рядом ограничений.

GAN-модель включает в себя две нейросети внутри, которые конкурируют друг с другом. «Генератор» пытается синтезировать реалистичные образы, а «Дискриминатор» пытается отличить реальные и сгенерированные данные. Результат образуется в момент успешного обмана «Дискриминатора» [4].

Диффузионные модели учатся генерировать данные, обращая вспять медленный стохастический процесс шумоподавления. Изначально процесс добавляет гауссовский шум во времени, затем наступает обратный процесс – модель обучается итеративному удалению шума и восстановлению исходного изображения [5].

Сравнительный анализ «GAN» и диффузионных моделей.

Базовое сравнение между «GAN» и «Diffusion» необходимо провести по качественным и количественным метрикам. Сравнительный анализ количественных крайне трудно провести из-за разного способа их применения, была произведена попытка сформировать сопоставимые условия [6]. Таким образом, анализ выглядит следующим образом:

Таблица 1

Параметр	«GAN» (StyleGAN3(	«Diffusion» (DiT-X/2)
Шаги инференса	1	~50 (стандартный режим CVPR)
FLOPs на 1 шаг	~35-45	~525
Общие FLOPs / изображение	~40	~26250
Рост вычислений	1x	650x
Тип генерации	одношаговая	итеративная

В отличие от количественных метрик, качественный анализ оценивает структурные особенности, архитектуру, поведение в процессе и генерации. Таблица количественного анализа выглядит следующим образом:

Сравнение количественных метрик отражает только вычислительную архитектуру и в то же время никак не характеризует поведение моделей в процессе обучения и генерации. Поэтому при равных вводных данных различия между «GAN» и «Diffusion» моделями проявляются в динамике сходимости, устойчивости распределения и способности покрывать обучающие выборки. Качественный анализ позволяет оценить архитектурные ограничения, склонность к «Mode Collapse», управляемость и масштабируемость моделей.

Таблица 2

Критерий	«GAN»	«Diffuion»
«Mode Collapse»	ниже	выше
FID	возможен	практически отсутствует
Интерпретируемость латента	высокая	умеренная
Масштабируемость	ограничена	линейна по размеру

Text-conditioning	сложная интеграция	нативная поддержка
Энергопотребление	низкое	крайне высокое

Заключение

Результаты сравнения демонстрируют особенности и ограничения каждой архитектуры. Генеративно-состязательные модели имеют преимущество в скорости и в стоимости затрат. Развернуть модель сравнительно легче и дешевле, по сравнению с диффузионными моделями. Однако, потенциальная нестабильность и риск «Mode Collapse» характеризуется ограничением модели.

Диффузионные модели хоть и требуют многократных итераций и большого количества вычислительной мощности, но в то же время обеспечивают более устойчивую динамику сходимости и лучшее покрытие распределение данных.

Выбор архитектуры определяется балансом между качеством результата и вычислительными затратами. Для задач генерации визуальных идентификаторов и сложных текстово-условных изображений диффузионные модели обеспечивают более высокое распределительное качество, тогда как GAN остаются предпочтительными в системах реального времени.

Список литературы

1. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN OJFBGD.
2. Ромбах Р., Блаттман А., Лоренц Д., Эссер П., Оммер Б. Высококачественный синтез изображений с использованием латентных диффузионных моделей // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022.
3. Сахария Ч., Чан У., Саксена С., Ли Л., Уитакер С., Барретт У., и др. Фотореалистичная генерация текста в изображение с глубоким пониманием языка (Imagen) // arXiv. 2022.
4. Diffusion Models vs GANs vs VAEs: Comparison of Deep Generative Models // Towards AI. URL: <https://pub.towardsai.net/diffusion-models-vs-gans-vs-vaes-comparison-of-deep-generative-models-67ab93e0d9ae> (дата обращения: 10.02.2026).

5. Вивеканантхан С. Сравнительный анализ генеративных моделей: повышение качества синтеза изображений с использованием VAE, GAN и Stable Diffusion // arXiv. 2024.

6. Сонг Я., Дхариуал П., Чен М., Сутскевер И. Consistency Models // International Conference on Machine Learning (ICML). 2023.

References

1. Yurchishina M.V., Bushmeleva K.I. Algorithmic Model of the Decision Support System “Optimal Curriculum” // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 84–95. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. EDN OJFBGD.

2. Rombach R., Blattmann A., Lorenz D., Esser P., Ommer B. High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022.

3. Saharia C., Chan W., Saxena S., Li L., Whittaker S., Barrett W., et al. Photorealistic Text-to-Image Diffusion Models with Deep Language Understanding (Imagen) // arXiv. 2022.

4. Diffusion Models vs GANs vs VAEs: Comparison of Deep Generative Models // Towards AI. Available at: <https://pub.towardsai.net/diffusion-models-vs-gans-vs-vaes-comparison-of-deep-generative-models-67ab93e0d9ae> (accessed: 10.02.2026).

5. Vivekananthan S. Comparative Analysis of Generative Models: Enhancing Image Synthesis with VAEs, GANs, and Stable Diffusion // arXiv. 2024.

6. Song Y., Dhariwal P., Chen M., Sutskever I. Consistency Models // International Conference on Machine Learning (ICML). 2023.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЧАТ-БОТА ПОДДЕРЖКИ СТУДЕНТОВ

С.И. Перов¹, Д.Е. Букреев¹, Д.С. Корешков¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной работе обзревается моделирование ИС чат-бота поддержки студентов вузов и СПО. Модель и архитектура чат-бота. Возможный интерфейс, а также мессенджеры в которых будет находиться бот, который учитывает запросы студентов. Анализируются часто задаваемые вопросы, которые возникают у студентов, возможные недостатки и пути их решения, а также преимущества такого решения. Проводится расчёт примерной эффективности чат бота.

Ключевые слова: Чат-бот, мессенджеры, вопросы студентов, ВУЗ, деканат, вопросы студентов, интерфейс, база знаний.

MODELING OF THE INFORMATION SYSTEM OF A CHATBOT FOR STUDENTS

S.I. Perov¹, D.E. Bukreev¹, D.S. Korechkov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. In this paper, the modeling of the IC of a chatbot for university students and vocational schools is reviewed. The chatbot model and architecture. A possible interface, as well as messengers in which there will be a bot that takes into account the requests of students. The article analyzes frequently asked questions that students have, possible disadvantages and ways to solve them. As well as the advantages of such a solution. The approximate effectiveness of the chatbot is calculated.

Keywords: Chatbot, messengers, student questions, university, dean's office, student questions, interface, knowledge base.

Каждый студент сталкивается с проблемами, где нужно узнать расписание пар, но сайт ВУЗа не работает по техническим причинам, или ты студент 1 курса

и не знаешь где находится корпус или кабинет. А также любые вопросы, связанные со справками, выписками из деканата. Все эти вопросы отнимают у сотрудников ВУЗа очень много времени, особенно эта проблема стоит остро в период сессий и зачетов.

Эти проблемы можно решить, смоделировав простого чат-бота для автоматизации таких вопросов. Целью будет показать как этот чат-бот будет работать и общаться со студентами, модель покажет стоит ли внедрять такое решение, и как его правильно смоделировать.

На начальном этапе стоит понять какие вопросы есть у студентов, и на основе их выделить следующие категории:

Учебные – расписание занятий, расположение кабинетов, связь с преподавателем, задания к предметам.

Справочно-административные – справки и выписки из ВУЗа, перевод, академический отпуск, стипендия, и т.д.

Эти категории и будут взяты за основу. Для создания чат-бота будут взяты основные мессенджеры которые используют студенты.

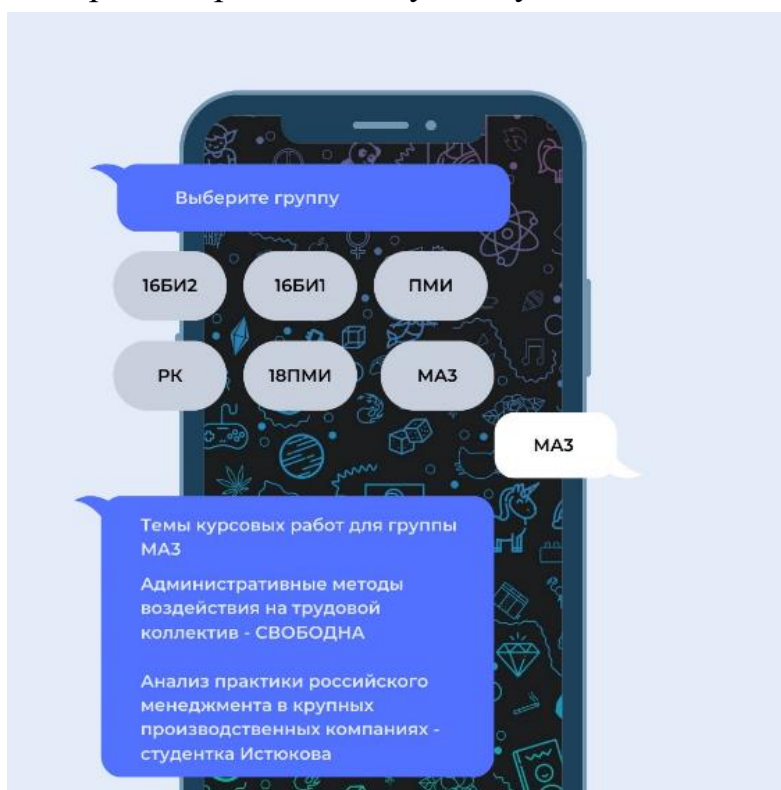


Рисунок 1 – Пример интерфейса чат бота

При старте бота, студенту будет выводиться следующее сообщение: Добрый день, студент! Тебя приветствует умный чат-бот «Название вуза». Для продолжения выбери один из следующих пунктов и пришли мне его номер.

К примеру возможный список:

1. Учебный вопрос
2. Вопросы по справкам, выпискам
3. Расписание занятий
4. Иные вопросы

Соответственно далее будут другие подпункты с более узконаправленными категориями.

Студенту так же будет предложено ввести номер группы и ФИО. А также в случае неправильного ввода группы будет всплывать ошибка ввода.

Простая архитектура чат-бота:

Любой чат бот это набор связанных компонентов:

1. Интерфейс – это то где общается студент – мессенджеры (Вконтакте, Telegram, МАХ). Преимуществом является то, что не нужно устанавливать дополнительные приложения.
2. Модуль обработки запросов. Центральный узел системы, «Мозг» бота. Который хранит набор правил и процедур, не требующий сложного ИИ.
3. База знаний – таблица с ответами на запросы студента. Обновление его осуществляется либо вручную, либо из остальных систем ВУЗа.
4. Интеграция с внешними системами – как и описывалось ранние, подгрузка данных и подключение к другим системам.

Основные компоненты архитектуры

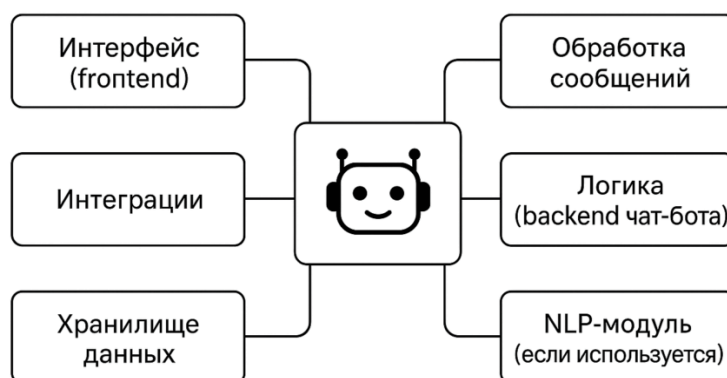


Рисунок 2 – возможный пример модели

Перейдем к расчёту эффективности (примерной). Допустим в вузе ежедневно поступает около 300 однотипных запросов. Простой бот, может покрыть как минимум 50% из них, так как половину из них будут простыми или даже

излишне «глупыми». Остальные вопросы уже потребуют вмешательства человека.

В среднем на ответ одного запроса у человека уйдет 3 минуты времени. Бот же обработает 50 процентов автоматически: $300 \cdot 0,50 = 150$. Экономия времени в день будет равна $150 \cdot 3 = 450$ минут. (7.5 часов).

Проблемы где бот может ошибиться:

1. Устаревшие данные. Если расписание изменилось, а в базу знаний эти поправки не внеслись, он даст неверную информацию. Но решение есть – привязка обновления к календарю, например каждый понедельник обновлять информацию.

2. Неоднозначные вопросы, которые не подходят к категориям прописанных в боте.

3. Отсутствие интеграции – если бот не подключен к сложным системам, например стипендии, то он не сможет ответить на такие сложные вопросы.

Такая модель показывает, что даже простой чат-бот без сложных систем ИИ, может снизить значительную часть нагрузки на деканат и административные кабинеты вуза. Ключевой успех – фокус на самые частые вопросы, обновление данных и четкое продумывание ответов на вопросы.

Ограничения модели очевидны, система не учитывает эмоции студента, работает только с заранее прописанному сценарию, однако решение рутинных вопросов она покрывает.

Список литературы

1. Юрчишина, М. В. Алгоритмическая модель СППР «Оптимальный учебный план» / М. В. Юрчишина, К. И. Бушмелева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 84–95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN [не указан]. – Текст : непосредственный.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению : национальный стандарт : дата введения 1994-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1993. – 28 с. – Текст : непосредственный.

3. Ховрич, С. Р. Чат-боты в социальных сетях и мессенджерах как информационная платформа для обучения / С. Р. Ховрич // Молодой учёный. – 2025. – № 34.1 (585.1). – С. 84–86. – URL: <https://moluch.ru/archive/585/128109/> (дата обращения: 04.02.2026). – Текст : электронный.

4. Гольчевский, Ю. В. Проектирование и разработка чат-бота для представления расписания в социальной сети / Ю. В. Гольчевский, А. В. Непеин // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика. – 2021. – № 3 (40). – С. 41–55. – DOI 10.34130/1992-2752_2021_3_41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-i-razrabotka-chat-bota-dlya-predstavleniya-raspisaniya-v-sotsialnoy-seti> (дата обращения: 04.02.2026). – Текст : электронный.

5. Заславский, А. А. Иерархическая структура способов применения чат-ботов при автоматизации построения индивидуальных образовательных траекторий / А. А. Заславский // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». – 2022. – № 2 (60). – С. 86–94. – DOI 10.25688/2072-9014.2022.60.2.08. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ierarhicheskaya-struktura-sposobov-primeneniya-chat-botov-pri-avtomatizatsii-postroeniya-individualnyh-obrazovatelnyh-traektoriy> (дата обращения: 04.02.2026). – Текст : электронный.

6. К вопросу о разработке информационно-насыщенных чат-ботов в гуманитарной сфере коммуникации (опыт создания адаптационного чат-бота для иностранных студентов) / С. О. Шереметьева, О. И. Бабина, А. Ю. Зиновьева, Е. Д. Неручева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Лингвистика. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 56–64. – DOI 10.14529/ling220409. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-razrabotke-informatsionno-nasyschennyh-chat-botov-v-gumanitarnoy-sfere-kommunikatsii> (дата обращения: 04.02.2026). – Текст : электронный.

7. Федотова, В. С. Концептуальная модель технологии разработки образовательного чат-бота для сопровождения практической подготовки студентов / В. С. Федотова, Н. С. Федотова // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2025. – Т. 10, вып. 2. – С. 170–179. – URL: <https://www.gramota.net/article/ped20250029/fulltext> (дата обращения: 04.02.2026). – Текст : электронный.

8. Бакун, Л. И. Информационная система «Консультант студента» на основе чат-бота Telegram / Л. И. Бакун // Информационные системы и технологии : сборник статей 61-й юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 21–25 апреля 2025 г.). – Минск : БГУИР, 2025. – С. 18–20. – URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/60533> (дата обращения: 04.02.2026). – Текст : электронный.

9. Автоматизация процесса информирования участников учебного процесса на основе Telegram / В. А. Чернов, Д. Р. Фатихов, А. Д. Рамазанов, Г. А. Гареева // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Т. 13, № 4. – С. 22–36. – DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-4-22-36. – Текст : электронный.

10. Лиманова, Н. И. Разработка интеллектуальных чат-ботов : учеб. пособие по дисциплине «Разработка интеллектуальных мобильных приложений и чат-ботов» / Н. И. Лиманова. – Самара : ПГУТИ, 2023. – 114 с. – Текст : электронный // ЭБС «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/book/463568> (дата обращения: 04.02.2026).

References

1. Yurchishina, M. V. Algorithmic model of the DSS "Optimal curriculum" / M. V. Yurchishina, K. I. Bushmeleva // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 84-95. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-84-95. – EDN [not specified]. – Text : direct.

2. GOST R ISO/IEC 9126-93. Information technology. Evaluation of software products. Quality characteristics and guidelines for their application : national standard : date of introduction 1994-01-01. – Moscow : Publishing House of Standards, 1993. – 28 p. – Text : direct.

3. Khovrich, S. R. Chatbots in social networks and messengers as an information platform for learning / S. R. Khovrich // Young Scientist. – 2025. – № 34.1 (585.1). – Pp. 84-86. – URL: <https://moluch.ru/archive/585/128109> / (date of access: 02/04/2026). – Text : electronic.

4. Golchevsky, Yu.V. Design and development of a chatbot for presenting schedules on a social network / Yu. V. Golchevsky, A.V. Nepein // Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanical engineering. Computer science. – 2021. – № 3 (40). – Pp. 41-55. – DOI 10.34130/1992-2752_2021_3_41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-i-razrabotka-chat-bota-dlya-predstavleniya-raspisaniya-v-sotsialnoy-seti> (date of notification: 02/04/2026). – Text : electronic.

5. Zaslavsky, A. A. Hierarchical structure of methods of using chatbots in automating the construction of individual educational trajectories / A. A. Zaslavsky // Bulletin of the Moscow State Pedagogical University. The series "Informatics and informatization of education". – 2022. – № 2 (60). – Pp. 86-94. – DOI 10.25688/2072-9014.2022.60.2.08. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ierarhicheskaya>

struktura-sposobov-primeneniya-chat-botov-pri-avtomatizatsii-postroeniya-individualnyh-obrazovatelnyh-traektoriy (date of request: 02/04/2026). – Text : electronic.

6. On the issue of developing information-rich chatbots in the humanitarian field of communication (the experience of creating an adaptive chatbot for international students) / S. O. Sheremetyeva, O. I. Babina, A. Y. Zinovieva, E. D. Nerucheva // Bulletin of the South Ural State University. Series: Linguistics. – 2022. – Vol. 19, No. 4. – pp. 56-64. – DOI 10.14529/ling220409. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-vo-prosu-o-razrabotke-informatsionno-nasyschennyh-chat-botov-v-gumanitarnoy-sfere-kommunikatsii> (date of request: 02/04/2026). – Text : electronic.

7. Fedotova, V. S. A conceptual model of the technology of developing an educational chatbot to accompany the practical training of students / V. S. Fedotova, N. S. Fedotova // Pedagogy. Questions of theory and practice. – 2025. – Vol. 10, issue 2. – pp. 170-179. – URL: <https://www.gramota.net/article/ped20250029/fulltext> (date of request: 02/04/2026). – Text : electronic.

8. Bakun, L. I. The Student's Consultant information system based on the Telegram chatbot / L. I. Bakun // Information systems and technologies : a collection of articles from the 61st anniversary scientific conference of graduate Students, undergraduates and students (Minsk, April 21-25, 2025). – Minsk : BSUIR, 2025. – P. 18-20. – URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/60533> (date of request: 02/04/2026). – Text : electronic.

9. Automation of the process of informing participants in the educational process based on Telegram / V. A. Chernov, D. R. Fatikhov, A.D. Ramazanov, G. A. Gareeva // International Journal of Advanced Studies. – 2023. – Vol. 13, No. 4. – pp. 22-36. – DOI 10.12731/2227-930X-2023-13-4-22-36 - Text : electronic.

10. Limanova, N. I. Development of intelligent chatbots : textbook. handbook on the discipline "Development of intelligent mobile applications and chatbots" / N. I. Limanova. Samara : PGUTI, 2023. 114 p. – Text : electronic // EBS "Lan". – URL: <https://e.lanbook.com/book/463568> (date of request: 02/04/2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ В ИС ФИТНЕС КЛУБА

С.И. Перов¹, А.А. Сахаров¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной работе обозревается модель информационной системы для интеллектуального планирования расписания фитнес центров. Анализируется рынок и готовые конкурентные решения. Выявляются преимущества системы перед конкурентами и так же инновационность проекта. Указываются методы и инструменты для реализации проекта. А также рассматривается интерфейс администратора.

Ключевые слова: Оптимизация, фитнес-центр, прогнозирование, интеллектуальный прогноз, ИИ, расписание, автоматизация.

MODELING OF THE INTELLIGENT RESOURCE PLANNING MODULE IN THE FITNESS CLUB'S INFORMATION SYSTEM

S.I. Perov¹, A.A. Saharov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper reviews the development of an information system for intelligent scheduling of fitness centers. The market and ready-made competitive solutions are analyzed. The advantages of the system over its competitors and the innovativeness of the project are identified. The methods and tools for implementing the project are specified. The administrator interface is also discussed.

Keywords: Optimization, fitness center, forecasting, intelligent forecasting, AI, scheduling, automation.

Управление современными центрами стремительно, как и все остальные сферы жизни автоматизируются. К ключевым бизнес-процессам, которые необходимо оптимизировать является планирование расписания групповых занятий, которое является одним из наиболее трудоемких. Согласно источнику: Анализ-

фитнес услуг РФ, 2024г. 78% фитнес клубов составляют расписание по шаблону, вручную. При составлении не учитываются реальные загрузки залов, отзывы клиентов, и спроса на ту или иную тренировку и того или иного тренера. Только 12% залов в городах миллионниках используют системы анализа данных, для оптимизации. Это все приводит к потере прибыли, неэффективному использованию дорогостоящего оборудования и ресурсов.

Существующие решения на рынке являются либо слишком дорогими, либо не предлагают функций интеллектуального прогнозирования.

Цели и задачи проекта: Разработка и внедрение веб сервиса для автоматизации планирования расписания с модулем ИИ для прогнозирования посещаемости на основе исторических данных за последний год.

Задачи проекта:

1. Разработка алгоритмов прогнозирования загрузки залов на основе анализа данных;
2. Создать веб – интерфейс для администраторов клубов;
3. Реализовать интеграцию с уже существующими системами через REST API;
4. Провести тестирование системы и оценку эффективности;
5. Разработать стратегию коммерциализации продукта;

Анализ конкурентов:

Проведенный анализ конкурентоспособности продукта вывел следующие группы конкурентов:

- Комплексные CRM системы. Такие как 1С Фитнес, UFS и т.п.

Широкий функционал, система бронирования, онлайн запись, мобильное приложение, бухгалтерия, но их стоимость слишком высока для малого и среднего бизнеса, от 15.000 рублей + внедрение. Отсутствует модуль прогнозирования.

- Закрытые экосистемы недоступные для других клубов. ALEX Fitness. Мобильное приложение, расписание, бронирование, просмотр текущей загруженности клуба. Также отсутствует система интеллектуального прогнозирования.

- Иностранные платформы такие как MindBody, Glofox. Для РФ имеют проблемы с локализацией, сложность адаптации, высокая итоговая стоимость.

- Системы записи SimplyClub. Основан на опыте клиентов, не предлагает возможности оптимизации и аналитики.

Конкурентные преимущества системы:

1. Небольшая стоимость 3000-5000 руб/мес, по подписке.
2. AI-прогнозирование посещаемости и оптимизации расписания, а не просто система бронирования.
3. Интеграция через REST API, позволяет интегрироваться в уже существующую CRM-систему, а не создавать ее с нуля под конкретный клуб.
4. Простота внедрения
5. Решение для малых и средних клубов, которые занимают 85% рынка.

Инновационностью является разработка прогнозной модели, создается ансамблевая модель, которая объединяется из базовых временных паттернов (сезонность, тренд) и нелинейные зависимости от внешних факторов таких как погода, праздники, акции. Этот симбиоз позволяет достичь максимально эффективного и точного прогноза, чем использовать алгоритм ARIMA и Gradient Boosting отдельно.

Практической ценностью является перевод управления фитнес центра на Data-Driven основу (подход, принятие решений в котором опирается на данные, а не на мнения и интуиции).

- Снижение затрат рутинных процессов планирования за счёт автоматизации.
- Увеличить доходность клуба за счёт оптимизации.
- Повысить эффективность использования помещений, тренеров.

Методы и технологии которые будут применены для разработки:

1. Backend: Python, FastAPI, база данных TimescaleDB, библиотеки для анализа Pandas, Scikit-learn.
2. Frontend: Веб интерфейс на React.js с использованием скриптов TypeScript, Chart.js и React Календарь.
3. SaaS модель (облачная архитектура)
4. Для интеграции – API
5. Оценка точности моделей по метрике MAPE на исторических данных (15000 записей) от 3-5 клубов.

Веб интерфейс администратора будет состоять из следующих компонентов:

- Сетка расписания. Визуализация расписания групповых занятий. Будет применена цветовые обозначения загрузки к примеру, зеленый – низкая загрузка, желтый – средняя, красный – максимальная. Также возможность администратору перетаскивать занятия и корректировать его.

– Ниже от сетки будет располагаться панель прогнозирования, система генерирует готовое расписание с учетом прогноза. Его так же можно редактировать.

На этой панели в виде уведомлений выводятся рекомендации: «Перенесите тренировку по йоге с 17:00 на 19:30 для выравнивания загрузки». Система не только показывает прогноз и уведомления, но и генерирует конкретное предложение расписания.

– Для анализа результатов имеется дашборд с графиками и диаграммами с помощью библиотеки Chart.js.

Преимуществом такого подхода является наглядность, интерактивность, и Data-driven управление.

Представленный проект предлагает востребованное рынком решение для автоматизации управления фитнес центрами. Его ключевое отличие от остальных систем в фокусе на интеллектуальном анализе данных, для создания прогноза и распределения ресурсов фитнес-центров. Внедрение данной системы позволит вывести эффективность фитнес-центров на новый уровень.

Список литературы

1. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71–79. – Текст : непосредственный.

2. Титова, Л. К. Инструменты для создания информационной системы автоматизации деятельности фитнес-клуба / Л. К. Титова, А. С. Лещун // Актуальные вопросы современной науки : сборник статей XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2024. – С. 46–48. – Текст : электронный // eLIBRARY.RU : [сайт]. – URL: <https://elib.gstu.by/handle/220612/41590> (дата обращения: 18.11.2025).

3. Топольник, В. Г. Моделирование средствами IDEF0 бизнес-процесса предоставления фитнес-услуг / В. Г. Топольник, Д. В. Щербакова // Научный журнал. – 2019. – Текст : электронный // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-sredstvami-idef0-biznes-protsessa-predostavleniya-fitness-uslug> (дата обращения: 18.11.2025).

4. Нижегородская область создала цифровую систему спорта на базе 1С:Фитнес клуб // ComNews : [сайт]. – 2025. – Текст : электронный. – URL:

<https://www.comnews.ru/content/242982/2025-12-15/2025-w51/1180/kak-nizhegorodskaya-oblast-sozdala-unikalnuyu-cifrovuyu-sistemu-sporta-baze-1sfitnes-klub> (дата обращения: 18.11.2025).

5. Кадилова, Х. М. Разработка проекта цифровизации компании малого бизнеса на примере ИП «МОЛОТ» : выпускная квалификационная работа / Х. М. Кадилова ; НИУ ВШЭ. – 2025. – Текст : электронный // Научная электронная библиотека НИУ ВШЭ : [сайт]. – URL: <https://www.hse.ru/edu/vkr/1046847243> (дата обращения: 18.11.2025).

6. Барышникова, И. В. Разработка информационной системы для автоматизации работы фитнес-клуба : выпускная квалификационная работа / И. В. Барышникова ; Сибирский федеральный университет. – 2019. – Текст : электронный // Электронная библиотека СФУ : [сайт]. – URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/112100> (дата обращения: 18.11.2025).

7. Разработка информационной системы деятельности фитнес-центра на основе платформы 1С:Предприятие / Р. В. Щендрыгин, Д. К. Д. Карви, Т. Н. М. Махди // КиберЛенинка : [сайт]. – Текст : электронный. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-informatsionnoy-sistemy-deyatelnosti-fitness-tsentra-na-osnove-platformy-1s-predpriyatie> (дата обращения: 18.11.2025).

8. Сакович, А. В. Веб-приложения для сети тренажёрных залов : выпускная квалификационная работа / А. В. Сакович ; БГТУ. – 2025. – Текст : электронный // Электронная библиотека БГТУ : [сайт]. – URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/72522> (дата обращения: 18.11.2025).

9. Брижанский, Л. В. Формирование постановки задачи на разработку автоматизированной информационной системы деятельности администратора предприятия / Л. В. Брижанский, Ю. А. Брижанская, Е. Л. Брижанская // Наука и Образование. – 2025. – Текст : электронный // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-postanovki-zadachi-na-razrabotku-avtomatizirovannoy-informatsionnoy-sistemy-deyatelnosti-administratora-predpriyatiya> (дата обращения: 18.11.2025).

10. 1С:Фитнес клуб – проект года 2025 // TAdviser : [сайт]. – 2025. – Текст : электронный. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Новости:1С:Фитнес_клуб_-_проект_года_2025 (дата обращения: 20.02.2026).

References

1. Sumin, V. I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko,

A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 71-79. – Text : direct.

2. Titova, L. K. Tools for creating an information system for automating the activities of a fitness club / L. K. Titova, A. S. Leshchun // Actual issues of modern science : collection of articles of the XIII International Scientific and Practical Conference – Penza : ICNS "Science and Education", 2024. – Pp. 46-48. – Text : electronic // eLibrary.RU : [website]. – URL: <https://elib.gstu.by/handle/220612/41590> (date of request: 11/18/2025).

3. Topolnik, V. G. Modeling by means of IDEF0 of the business process of providing fitness services / V. G. Topolnik, D. V. Shcherbakova // Scientific journal. – 2019. – Text : electronic // Cyber Training : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-sredstvami-idef0-biznes-protsessa-pre-dostavleniya-fitness-uslug> (date of notification: 11/18/2025).

4. Nizhny Novgorod Region has created a digital sports system based on 1C:Fitness club // ComNews : [website]. – 2025. – Text : electronic. – URL: <https://www.comnews.ru/content/242982/2025-12-15/2025-w51/1180/kak-nizhegorodskaya-oblast-sozdala-unikalnuyu-cifrovuyu-sistemu-sporta-baze-1sfitness-klub> (date of request: 11/18/2025).

5. Kadirova, H. M. Development of a project for digitalization of a small business company using the example of IP "MOLOT" : final qualification work / H. M. Kadirova ; HSE. - 2025. – Text : electronic // Scientific Electronic Library of the Higher School of Economics : [website]. – URL: <https://www.hse.ru/edu/vkr/1046847243> (date of request: 11/18/2025).

6. Baryshnikova, I. V. Development of an information system for automating the work of a fitness club: final qualification / I. V. Baryshnikova ; Siberian Federal University. – 2019. – Text : electronic // SibFU Electronic Library : [website]. – URL: <http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/112100> (date of request: 11/18/2025).

7. Development of an information system for fitness center activities based on the 1C platform: The enterprise / R. V. Shchendrygin, D. K. D. Karvi, T. N. M. Mahdi // CyberLeninka : [website]. – Text : electronic. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-informatsionnoy-sistemy-deyatelnosti-fitness-tsentra-na-osnove-platformy-1s-predpriyatie> (date of request: 11/18/2025).

8. Sakovich, A.V. Web applications for a network of gyms : final qualifying work / A.V. Sakovich ; BSTU. – 2025. – Text : electronic // Electronic library of BSTU : [website]. – URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/72522> (date of request: 11/18/2025).

9. Brizhansky, L. V. Formation of a task statement for the development of an automated information system for the activities of an enterprise administrator / L. V. Brizhansky, Yu. A. Brizhanskaya, E. L. Brizhanskaya // Science and Education. – 2025. – Text : electronic // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-postanovki-zadachi-na-razrabotku-avtomatizirovannoy-informatsionnoy-sistemy-deyatelnosti-administratora-predpriyatiya> (date of request: 11/18/2025).

10. 1C: Fitness Club – the project of the year 2025 // TAdviser : [website]. – 2025. – Text : electronic. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Новости:1C:Fitness Club_-_project_2025 (accessed: 02/20/2026).

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.В. Полуэктов¹, К.В. Зольников¹, А.В. Ачкасов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются современное состояние и тенденции развития систем автоматизации проектирования (САПР). Анализируется интеграция технологий информационного моделирования (BIM), управления жизненным циклом изделий (PLM) и искусственного интеллекта (ИИ) в процессы проектирования. Особое внимание уделяется российскому рынку САПР в условиях импортозамещения. Приводится обзор ключевых отечественных и зарубежных программных продуктов, а также перспективы их развития.

Ключевые слова: САПР, автоматизация проектирования, BIM-технологии, информационное моделирование, PLM-системы, искусственный интеллект.

AUTOMATION SYSTEMS FOR DESIGN

A.V. Poluektov¹, K.V. Zolnikov¹, A.V. Achkasov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the current state and development trends of design automation systems (DAS). It analyzes the integration of information modeling (BIM), product lifecycle management (PLM), and artificial intelligence (AI) technologies into design processes. Special attention is paid to the Russian DAS market in the context of import substitution. The article provides an overview of key domestic and foreign software products, as well as their development prospects.

Keywords: DAS, design automation, BIM technologies, information modeling, PLM systems, and artificial intelligence.

Введение

Системы автоматизации проектирования прошли долгий путь от простых электронных кульманов до комплексных платформ, управляющих жизненным циклом сложных инженерных объектов. Сегодня САПР – это не просто инстру-

мент для создания чертежей, а интеллектуальная среда, интегрирующая расчетные, моделирующие и управляющие подсистемы. Как отмечают эксперты, ключевыми мировыми трендами являются автоматизация рутинных операций, повсеместное внедрение технологий информационного моделирования (BIM) и использование PLM-систем для управления продуктом на всем протяжении его жизни.

Эволюция САПР: от 2D-черчения к интеллектуальным 3D-моделям

Развитие САПР тесно связано с достижениями в вычислительной технике и математическом моделировании. Первые системы, включая AutoCAD (выпущенный в начале 1980-х), совершили революцию, позволив проектировщикам заменить ручные кульманы компьютерными чертежами с высокой детализацией.

Крупным прорывом стали технологии информационного моделирования зданий (BIM). В отличие от обычного 2D-черчения, BIM создает единую цифровую модель объекта со всей информацией о геометрии, материалах, характеристиках и инженерных коммуникациях. Первопроходцем выступила Graphisoft с ARCHICAD – программой, реализовавшей идею «виртуального здания».

В настоящее время BIM-технологии (в России – ТИМ) превращаются в стандарт как за рубежом, так и у нас. Постановление Правительства РФ №331 уже требует использования ТИМ для ряда государственных объектов.

Математическое и программное обеспечение современных САПР

Современные САПР – это сложные программно-аппаратные комплексы, эффективность которых во многом зависит от качества их математического и программного обеспечения. Как следует из тематики журнала «Моделирование систем и процессов», ключевую роль здесь играют методы моделирующих подсистем.

Изучая диссертационные исследования последних лет, можно выделить, например, вопросы разработки математического и программного обеспечения моделирующих подсистем САПР на основе полужавных методов численного интегрирования. Это необходимо для повышения производительности труда при проектировании многокомпонентных изделий и улучшения их качества.

Кроме того, активно ведутся работы в области применения параллельных вычислений в САПР. Теоретические основы математического аппарата для реализации параллельных вычислений позволяют значительно ускорить процессы

покоординатного расчета сложных систем, раскрывая скрытый параллелизм вычислительных задач.

Автоматизированное проектирование

Сегодня данные нужно обрабатывать быстро и эффективно, и требования к этому только растут. Автоматизированное проектирование – одно из решений. Оно позволяет сократить время разработки, снизить затраты на производство и выпускать продукцию лучшего качества. В статье мы посмотрим, в каких отраслях автоматизированное проектирование уже принесло реальные результаты.

В инженерии оно давно стало незаменимым инструментом. Разработчики быстро создают и переделывают детали и конструкции. Одна из самых известных программ – AutoCAD. С её помощью строят трёхмерные модели, делают электрические схемы и технические спецификации.

Медицина тоже активно использует методы автоматизированного проектирования. Благодаря им удалось добиться высокой точности и безопасности при создании медицинских приборов. Например, Siemens разрабатывает аппаратуру, где применяют элементы моделирования и компьютерного симулирования.

В транспорте автоматизированное проектирование тоже прижилось. Производители машин используют компьютерные технологии, чтобы создать оптимальную форму кузова – двигатель работает эффективнее, топлива уходит меньше. Boeing применяет такие системы для проектирования самолётов – время разработки сокращается, точность изготовления растёт.

Будущее выглядит многообещающе. Каждый год появляются новые технологии, которые позволяют делать проекты точнее и лучше. Примеры – 3D-печать и виртуальная реальность. Они открывают почти безграничные возможности для проектирования и производства.

Так что автоматизированное проектирование – незаменимая вещь для разных промышленных отраслей. Продукцию удаётся выпускать быстрее, качественнее и дешевле. Новые технологии только усиливают этот тренд, и перспективы выглядят очень позитивно.

Отдельно стоит сказать про автоматизированное проектирование средств и систем управления. Это ключевой этап при разработке современных технологических комплексов. С его помощью можно резко сократить сроки создания промышленных систем автоматизации и повысить их точность и надёжность.

Одно из главных достоинств – возможность настраивать систему поэтапно и проверять, как работают её компоненты вместе, ещё до того, как воплощать всё

в железе. Такой подход уменьшает ошибки, связанные с неправильными соединениями, и позволяет максимально оптимизировать систему.

Интеграция искусственного интеллекта в процессы проектирования

Одним из наиболее ярких трендов последних лет является интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) в САПР. ИИ не заменяет проектировщика, а выступает в роли мощного помощника, автоматизируя сложные задачи и ускоряя поиск оптимальных решений. Основные направления применения ИИ в САПР включают:

Генеративный дизайн: алгоритмы на основе заданных ограничений (материал, вес, прочность) самостоятельно генерируют множество вариантов конструкции, оптимизированных по заданным параметрам.

Топологическая оптимизация: ИИ помогает удалить материал в тех местах, где он не нужен, создавая легкие и прочные конструкции, которые часто невозможно придумать человеку.

Автоматизация рутинных операций: использование ИИ для автоматического распознавания типовых элементов, простановки размеров и создания спецификаций позволяет, по оценкам экспертов, снизить затраты времени на 10–15%.

Применение больших языковых моделей (LLM): ведутся исследования по адаптации больших языковых моделей для задач САПР, что в перспективе позволит проектировщикам взаимодействовать с системой на естественном языке, а также использовать визуальные языковые модели для анализа и генерации проектных решений.

Российский рынок САПР: состояние и перспективы

Уход западных вендоров, таких как Autodesk, и отключение их облачных сервисов (например, BIM 360 летом 2024 года) стали серьезным вызовом для российских проектировщиков, но одновременно дали мощный импульс развитию отечественного программного обеспечения. Опираясь на статистические данные можно указать, что российский рынок САПР демонстрирует впечатляющие темпы роста, по прогнозам, среднегодовой темп роста (CAGR) до 2030 года достигнет 16%, а в сегменте ТИМ/ВІМ – фантастических 32% в год.

Среди активно развивающихся отечественных решений можно выделить:

- Т-FLEX (компания «Топ Системы») – PLM-платформа, включающая модули динамики и прочностного анализа;

- nanoCAD (компания «Нанософт») – платформа для проектирования, активно внедряемая в строительстве и машиностроении;
- Model Studio CS (компания «СиСофт Девелопмент») – решение для информационного моделирования промышленных объектов;
- геометрическое ядро C3D – независимая разработка, лежащая в основе многих отечественных САПР, которая отмечает свое 30-летие.

Тем не менее, существуют и проблемы. Главная из них – отсутствие полноценных аналогов зарубежного ПО для организации совместной работы конструкторов в единой среде, а также для разработки чертежей КМД (конструкций металлических деталей). Однако компании, такие как «Северсталь Стальные Решения», активно ведут собственные разработки в этом направлении, планируя создание собственных PLM-платформ.

Заключение

Системы автоматизации проектирования продолжают стремительно эволюционировать, превращаясь в интеллектуальные цифровые платформы. Мировыми драйверами этого развития выступают BIM-технологии, PLM-системы и интеграция инструментов искусственного интеллекта. Российский рынок, несмотря на временные трудности, связанные с импортозамещением, идет в ногу с глобальными трендами. Высокая конкуренция среди отечественных разработчиков стимулирует создание эффективных и востребованных продуктов, которые уже в ближайшие годы должны полностью закрыть потребности российских инженеров в современных инструментах проектирования.

Список литературы

1. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.
2. Капустин, Н. М. Системы автоматизированного проектирования : учебное пособие для студентов технических вузов : в 9 кн. Кн. 6. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования / Н. М. Капустин, Г. Н. Васильев ; под ред. И. П. Норенкова. – Минск : Вышэйшая школа, 1988. – 189 с. – ISBN 5-339-00029-X.

3. Головицына, М. В. Интеллектуальные САПР для разработки современных конструкций и технологических процессов : учебное пособие / М. В. Головицына. – Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ) : Ай Пи Ар Медиа, 2025. – 283 с.
4. Каган, П. Б. Информационное моделирование зданий и традиционное проектирование с применением САПР / П. Б. Каган, П. К. Гудков // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 9. – С. 164–168.
5. Рудской А.И., Волков К.Н., Соколов Ю.А., Кондратьев С.Ю. Цифровые производственные системы: технологии, моделирование, оптимизация. СПб.: СПбПУ, 2020. 828 с.
6. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120.
7. Воробьёв, С. П. Информационное моделирование в России / С. П. Воробьёв // Главный Инженер: Управление Промышленным Производством. – 2024. – № 7. – С. 40–43. – ISSN 2075-0951.
8. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР проектировании микросхем / А. В. Полуэктов, Д. В. Шеховцов, И. В. Скоркин, П. А. Чубунов // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71–80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

References

1. Increasing the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, A.V. Achkasov, Yu.A. Chevychelov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIK-KRO.
2. Kapustin, N. M. Automated Design Systems: A Textbook for Students of Technical Universities: In 9 Books. Book 6. Automation of Design and Technological Design / N. M. Kapustin, G. N. Vasilyev ; edited by I. P. Norenkov. – Minsk: Vysheyschaya Shkola, 1988. – 189 p. – ISBN 5-339-00029-X.
3. Golovitsyna, M. V. Intelligent CAD for the development of modern structures and technological processes : textbook / M. V. Golovitsyna. – Moscow : Internet University of Information Technologies (INTOUIT) : IPR Media, 2025. – 283 p.

4. Kagan, P. B. Information Modeling of Buildings and Traditional Design Using CAD / P. B. Kagan, P. K. Gudkov // Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. – 2017. – No. 9. – Pp. 164–168.

5. Rudskoy A.I., Volkov K.N., Sokolov Yu.A., Kondratyev S.Yu. Digital Production Systems: Technologies, Modeling, and Optimization. St. Petersburg: SPbPU, 2020. 828 p.

6. Sazonova, S. A. Modeling the process of leak diagnostics based on a two-alternative hypothesis, taking into account interference from stochastic consumption in a hydraulic system / S. A. Sazonova, I. V. Shcherbakova, and G. I. Smetankina // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 111-120.

7. Vorobyov, S. P. Information Modeling in Russia / S. P. Vorobyov // Chief Engineer: Management of Industrial Production. – 2024. – No. 7. – Pp. 40–43. – ISSN 2075-0951.

8. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtuoso environment and improving the intellectual properties of CAD for microcircuit design / A. V. Poluektov, D. V. Shekhovtsov, I. V. Skorkin, P. A. Chubunov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – Pp. 71–80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC 8 И ANYDYNAMICS 8 ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.В. Полуэктов¹, Ф.В. Макаренко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе проводится всесторонний сравнительный анализ двух отечественных сред имитационного моделирования – AnyLogic 8 и AnyDynamics 8 – в контексте моделирования физических процессов, описываемых системами дифференциальных и дифференциально-алгебраических уравнений. Показано, что AnyDynamics 8 ориентирован на чисто математическое описание непрерывных систем и не требует знаний языков программирования, тогда как AnyLogic 8 поддерживает гибридное моделирование, но требует базовых знаний Java. Приведён пошаговый пример моделирования в программах. Сделан вывод о целесообразности применения каждой среды в зависимости от задачи: AnyDynamics – для чисто физических и инженерных процессов, AnyLogic – для гибридных систем, включающих дискретные и агентные компоненты.

Ключевые слова: AnyLogic 8, AnyDynamics 8, имитационное моделирование, физические процессы, дифференциальные уравнения, гибридное моделирование, непрерывное моделирование, сравнительный анализ, численные методы, системная динамика, агентное моделирование, отечественное ПО.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ANYLOGIC 8 AND ANYDYNAMICS 8 SIMULATION SOFTWARE FOR MODELING PHYSICAL PROCESSES

A.V. Poluektov¹, F.V. Makarenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper presents a comprehensive comparative analysis of two simulation environments of Russian origin—AnyLogic 8 and AnyDynamics 8—in the context of modeling physical processes described by systems of differential and differential-algebraic equations. It is demonstrated that AnyDynamics 8 is oriented toward purely mathematical description of continuous systems and

does not require programming language knowledge, whereas AnyLogic 8 supports hybrid modeling but requires basic Java proficiency. A step-by-step modeling example implemented in both software packages is provided. The study concludes with recommendations on the appropriate application of each environment depending on the task: AnyDynamics is preferable for purely physical and engineering processes, while AnyLogic is better suited for hybrid systems incorporating discrete-event and agent-based components.

Keywords: AnyLogic 8, AnyDynamics 8, simulation modeling, physical processes, differential equations, hybrid modeling, continuous modeling, comparative analysis, numerical methods, system dynamics, agent-based modeling, Russian software.

Введение

Современные задачи моделирования в науке и промышленности всё чаще требуют комплексного подхода, учитывающего взаимодействие физических процессов (таких как теплопередача, механика сплошных сред, диффузия или электромагнитное взаимодействие) с дискретными событиями (например, запуск двигателя, смена смены на производстве, поступление груза) и агентным поведением (принятие решений человеком, ИИ-модулями или автономными роботами). Для решения таких задач разработаны специализированные программные комплексы, в числе которых выделяются две отечественные среды: AnyLogic и AnyDynamics.

Сравнительный анализ программ

Обе системы разработаны российскими компаниями:

- AnyLogic – продукт компании XJ Technologies (Санкт-Петербург), имеющий международное признание;
- AnyDynamics – продукт компании MVSTUDIUM Group, развивающийся из системы Model Vision, имеющей научную основу в трудах МГТУ им. Н. Э. Баумана и других ведущих технических вузов.

Несмотря на внешнюю схожесть названий, эти среды обладают принципиально разной архитектурой, философией и целевой аудиторией. AnyLogic позиционируется как мультипарадигмальная среда, поддерживающая дискретно-событийное, агентное и системно-динамическое моделирование, в то время как AnyDynamics ориентирована на точное математическое моделирование непрерывных и гибридных систем на основе дифференциальных и алгебраических уравнений [1].

В условиях технологического суверенитета и стремления к импортозамещению особенно актуальным становится не только техническое сравнение инструментов, но и оценка их применимости в рамках отечественной научно-технической базы. В последние годы AnyDynamics активно развивается как альтернатива зарубежным платформам (например, MATLAB/Simulink, Dymola), в то время как AnyLogic сохраняет международную ориентацию и широкое применение в бизнес-аналитике.

Физические процессы, как правило, описываются системами обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) или дифференциально-алгебраическими уравнениями (ДАУ). Общий вид системы

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y, u)$$

где y – вектор состояния (координаты, скорости, температуры, концентрации и др.), u – вектор управляющих или внешних воздействий, t – независимая переменная (время).

Для задач механики и электродинамики часто используются уравнения второго порядка, которые приводятся к системе первого порядка введением новых переменных (например, скорость как производная координаты).

Численное решение ОДУ требует применения различных методов интегрирования, таких как: методы Рунге–Кутты, многошаговые методы (Адамса–Бэшфорта, БДФ), специализированные методы для жёстких систем (например, методы Розенброка).

Поэтому, при анализе выбора метода решения следует провести анализ по следующим важнейшим характеристикам таким, как:

- точность (локальная и глобальная погрешность),
- устойчивость (в особенности для жёстких систем),
- адаптивность шага интегрирования,
- вычислительная сложность.

Поэтому, при моделировании физических процессов пользователь часто сталкивается с рядом вызовов:

- переход от непрерывной динамики к дискретным событиям (например, столкновение тел),
- алгебраические ограничения (например, несжимаемость жидкости),
- вычислительная жёсткость при наличии сильно различающихся временных масштабов,

- необходимость симуляции в реальном времени (например, для тренажёров или робототехники).

Анализ этих аспектов, со стороны разработчика компьютерной модели, определяет требования к архитектуре моделирующих сред.

AnyDynamics 8 реализует объектно-ориентированную декларативную парадигму, основанную на прямом описании математических зависимостей. Ключевой принцип – пользователь описывает систему уравнений, а среда сама решает, как её решать, оптимизировать и визуализировать. Разработка моделей в среде ANYDYNAMICS происходит исключительно на уровне математических зависимостей и диаграмм языка UML, не требуется использования языков программирования [2].

Перечислим основные особенности программы:

- естественный входной язык: поддержка стандартной математической нотации (производные, степени, корни);
- символьная предобработка: автоматическое упрощение выражений, аналитическое дифференцирование (с версии 8.0);
- автоматическая генерация кода: компиляция в оптимизированный C++ или Java без участия пользователя;
- высокая производительность: благодаря оптимизации структуры уравнений и низкоуровневой компиляции.

AnyDynamics использует бесшаговые (event-driven) методы для гибридных систем и комбинацию неявных и явных методов для ОДУ/ДАУ. В случае жёсткости система автоматически переключается на BDF-методы с переменным порядком.

AnyLogic 8 – мультипарадигмальная среда, позволяющая совмещать:

- System Dynamics (непрерывные процессы);
- Discrete Event Simulation (логистика, производство);
- Agent-Based Modeling (социальные системы, ИИ).

Ключевая особенность – встроенная поддержка Java. При этом программа AnyLogic является надстройкой над языком Java в которой все объекты, определенные пользователем, определяются как объекты, так и переменные, которые компилируются в конструкции языка Java, что даёт гибкость в построении модели, но требует от пользователя навыков программирования [3].

AnyLogic использует явные методы Рунге–Кутты по умолчанию, для жёстких систем поддержка ограничена, и пользователю приходится либо использовать мелкий фиксированный шаг, либо реализовывать собственные решатели через Java-код.

Проведем сравнительный анализ использования программ на примерах движения небесного тела и движения тела под действием силы тяжести.

Пример 1. Рассмотрим задачу движения тела массы m в гравитационном поле центрального тела массы M .

Математическая модель процесса представлена системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{GMx}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{GMy}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \end{cases}$$

Пример 2. Рассмотрим шар массой m , падающий вертикально в поле тяжести с высоты h_0 . При контакте с поверхностью ($y = 0$) происходит идеально упругое отражение (коэффициент восстановления $e = 1$), то есть вертикальная скорость мгновенно меняет знак: $v = -v$.

Математическая модель процесса описывается вторым законом Ньютона

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -g,$$

где $y(t)$ – высота шара над поверхностью, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения. Переходим к системе ОДУ первого порядка

$$\begin{cases} \frac{dy}{dt} = v \\ \frac{dv}{dt} = -g \end{cases}$$

где начальные условия: $y(0) = h_0$ (например, $h_0 = 10 \text{ м}$), $v(0) = 0$ (начальная скорость нулевая).

Установим условия ограничения модели, событие столкновения (граница) происходит при $y = 0$ и $v < 0$, при этом мгновенно изменяется скорость $v = -e \cdot v$, для идеального отражения: $e = 1 \Rightarrow v \leftarrow -v$.

Такая задача является гибридной, в ней наблюдаются непрерывная динамика и дискретное событие по условию.

Представим построение компьютерных моделей в каждой из программ, для анализа их корректности и удобства построения. Представим сначала в программе AnyDynamics 8.

Для первой модели нам потребуется выбрать вид проекта как «Непрерывный элементарный объект». В котором начальные условия и системы уравнений представлены на рисунке 1.

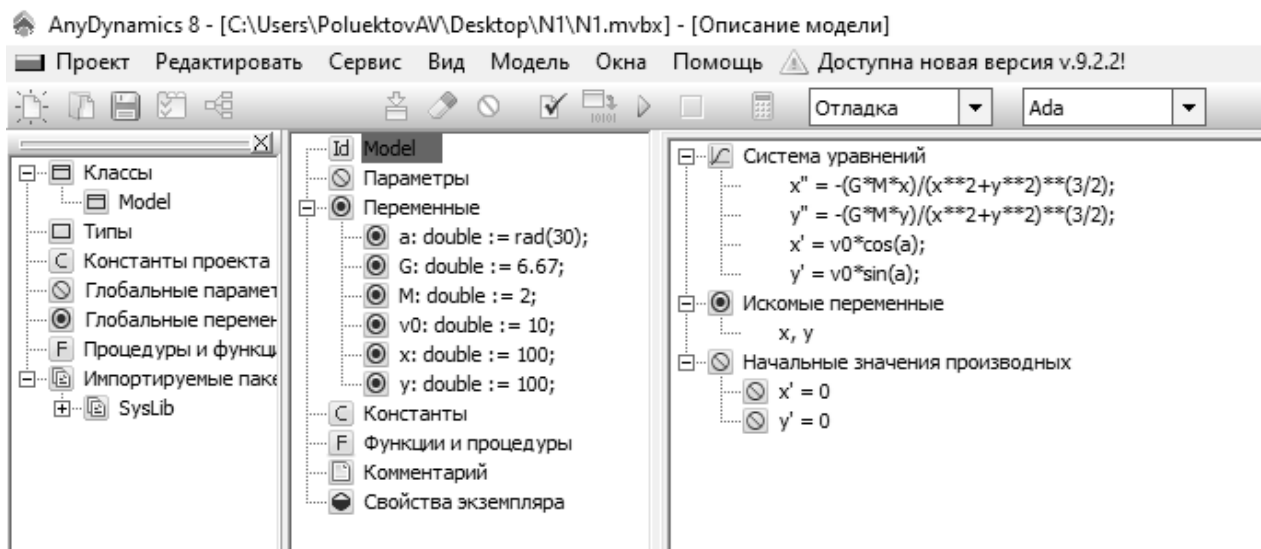


Рисунок 1 – Модель примера 1 в программе AnyDynamics 8

Второй пример требует реализации в проекте «Гибридный элементарный объект», в котором кроме исходных данных, систем уравнений требуется также построить систему поведения объекта в зависимости от поведения, см. рисунок 2.

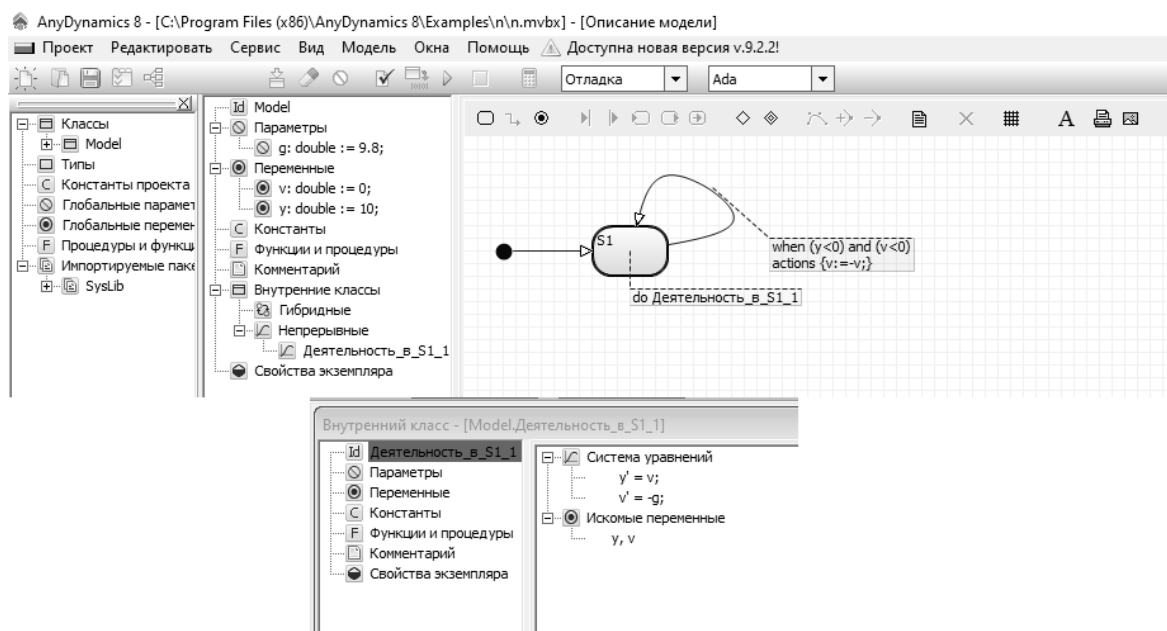


Рисунок 2 – Модель примера 2 в программе AnyDynamics 8

При построении моделей в данном приложении можно указать преимущества программы:

- минимум барьеров для инженера без опыта программирования;
- высокая точность за счёт символьной обработки;
- возможность моделирования систем с тысячами уравнений (например, тепловые модели сложных конструкций).

Теперь сделаем эту же работу для программы AnyLogic 8. Особенность проектирования модели в программе заключается в том, что разработка состоит как бы из двух частей, сначала проектируем программную часть, а лишь затем проектируем графическую часть. При работе с первой частью, нам потребуется определить потребуются ли нам компоненты из системной динамики для хранения данных или их необходимо описать в программной части. Рисунки 3 и 4 отражают результаты работы моделей, в построенной системе переменных и накопителей, которые участвуют в решении дифференциальных уравнений. Для первого примера дифференциальные уравнения задаются программным кодом на языке программирования Java:

```
vx = V0 * Math.cos(alpha);
vy = V0 * Math.sin(alpha);
dx/dt = vx;
dy/dt = vy;
dvx/dt = -G * M * x / Math.pow(x*x + y*y, 1.5);
dvy/dt = -G * M * y / Math.pow(x*x + y*y, 1.5);
```

Для второго примера получим:

```
double y = 10.0;
double v = 0.0;
double g = 9.81;
double e = 1.0;
dy/dt = v;
dv/dt = -g;
```

AnyLogic не поддерживает реализацию встроенной поддержки событий по нулю функции, поэтому событие реализуется вручную через добавления в Event события срабатывания условия через каждые dt секунд и проверяющий значение нуля.

```
if (y <= 0 && v < 0) {
    v = -e * v;
    y = 0;
}
```

Использование фиксированного шага можем привести к постепенному затуханию или нарастанию амплитуды из-за неточного определения момента столкновения.

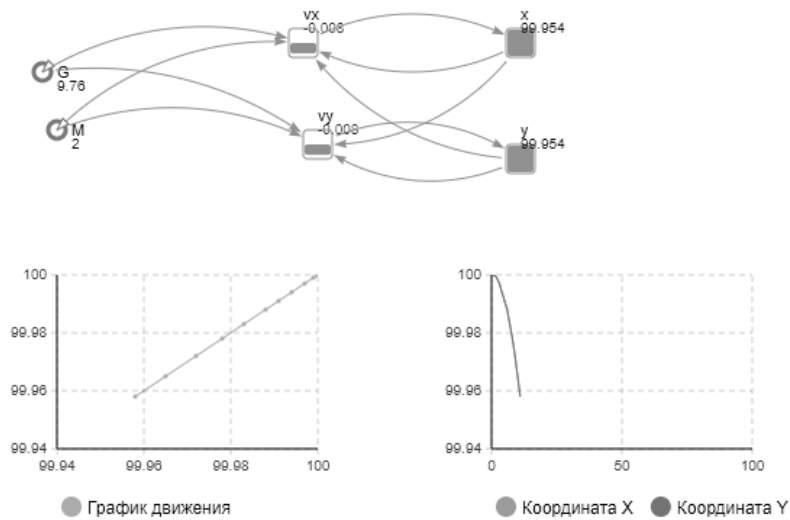


Рисунок 3 – Компьютерная модель в программе AnyLogic 8 (примера 1)

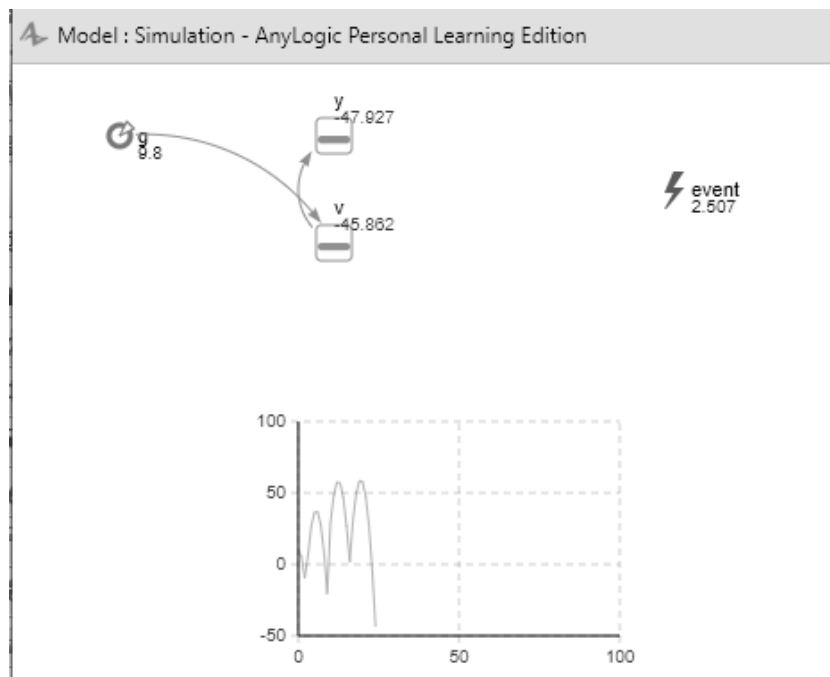


Рисунок 4 – Компьютерная модель в программе AnyLogic 8 (примера 2)

Подводя итог работы с программой, можно перечислить ее преимущества: гибкая анимация и 3D-визуализация, возможность включения дискретных событий, интеграция с библиотеками ИИ (Pathmind, RLlib через Java API).

В качестве недостатков можно выделить: требуется знание Java, меньшая точность для физических систем, высокая нагрузка при большом числе агентов и уравнений.

Проводя экспериментальную оценку точности опытов на основе предложенных примеров, можно сделать следующие выводы, AnyDynamics дает более точные расчеты по сравнению с AnyLogic. А при обработке гибридных событий в задаче столкновения шара с поверхностью, AnyDynamics корректно обрабатывает критические события, а AnyLogic требует ручной реализации условия через «event» или Java-триггер, что усложняет модель.

Заключение

Подводя итог по использованию программ в компьютерном моделировании можно рекомендовать следующее:

1. когда использовать AnyDynamics 8:
 - осуществляется моделирование физических процессов: динамика, теплопередача, химические реакции, электромеханические системы;
 - требуется максимальная производительность и точность;
 - отсутствует необходимость в поведенческих моделях или дискретной логике;
 - пользователь – инженер, учёный, студент технического вуза без опыта программирования.
2. когда использовать AnyLogic 8:
 - осуществляется моделирование гибридных систем: производственная линия + температурный режим + логистика;
 - необходима интерактивная анимация, 3D-визуализация, прототипирование интерфейсов;
 - требуется интеграция с ИИ;
 - пользователь – аналитик, разработчик, специалист по цифровым двойникам с навыками программирования.

AnyLogic 8 и AnyDynamics 8 представляют собой два разных подхода к имитационному моделированию, каждый из которых имеет своё «экологическое нишевое пространство». AnyDynamics 8 – это специализированный инструмент для высокоточного моделирования физических процессов с минимальными требованиями к программированию. AnyLogic 8 – это универсальная платформа для комплексного анализа сложных гибридных систем.

Выбор между ними должен основываться на:

- характере задачи (чисто физическая или гибридная),
- требованиях к точности и производительности,
- квалификации пользователя,
- стратегических целях организации (импортозамещение, международная совместимость).

В условиях роста сложности моделируемых систем и требований к достоверности цифровых двойников будущее за гибридными архитектурами, в которых AnyDynamics и AnyLogic могут и должны дополнять друг друга. Развитие отечественных инструментов в этом направлении является не только технической, но и стратегической задачей.

Список литературы

1. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова, Т. А. О. Эйнуллаев, Р. В. Тэн // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB.

2. Вакушин, А. А. Сравнительный анализ пакетов MATLAB.STATEFLOW/SIMULINK и ANYDYNAMICS для построения имитационных моделей социальных систем / А. А. Вакушин, Б. И. Клебанов // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 7. – С. 18-23. – DOI 10.17513/snt.38748. – EDN WNWJKA.

3. Орлова, Н. А. Использование имитационного моделирования AnyLogic в обучении студентов технического вуза гражданской авиации / Н. А. Орлова, А. В. Бурдуковская // Интеллектуальные технологии и инновационные подходы в междисциплинарных исследованиях: создание цифрового будущего : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Киров, 17 марта 2025 года. – Уфа: ООО "Омега сайнс", 2025. – С. 127-130. – EDN NEOVFP.

4. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР проектировании микросхем / А. В. Полуэктов, Д. В. Шеховцов, И. В. Скоркин, П. А. Чубунов // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71–80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

5. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.

6. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180–184.

References

1. Korobova, L. A. System Approach to Solving Applied Medical Diagnostic Problems / L. A. Korobova, T. A. O. Eynullaev, R. V. Ten // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – Pp. 52–61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB.

2. Vakushin, A. A. Comparative Analysis of MATLAB.Stateflow/Simulink and ANYDYNAMICS Packages for Building Simulation Models of Social Systems / A. A. Vakushin, B. I. Klebanov // Modern High-Tech Technologies. – 2021. – No. 7. – Pp. 18–23. – DOI 10.17513/snt.38748. – EDN WNWJKA.

3. Orlova, N. A. Application of AnyLogic Simulation Modeling in Teaching Students at a Civil Aviation Technical University / N. A. Orlova, A. V. Burdukovskaya // Intelligent Technologies and Innovative Approaches in Interdisciplinary Research: Creating a Digital Future: Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference, Kirov, March 17, 2025. – Ufa: Omega Science LLC, 2025. – Pp. 127–130. – EDN NEOVFP.

4. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtuoso environment and improvement of the intellectual properties of CAD chips / A.V. Poluektov, D. V. Shekhovtsov, I. V. Skorkin, P. A. Chubunov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – pp. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

5. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2010. – Vol. 317, No. 4. – pp. 129-133.

6. Hardware and software complex for automated tests of high-current converters / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva [et al.] // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – pp. 180-184.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И NLP ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДОКУМЕНТОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

И.В. Проненко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются принципы применения технологий компьютерного зрения (Computer Vision) и обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) при создании систем интеллектуальной обработки документов (Intelligent Document Processing, IDP) в рамках электронного документооборота. Проанализированы мультимодальные архитектуры на базе трансформеров – LayoutLMv3, DocLLM, UDOP, – обеспечивающие совместное кодирование текста, изображения и пространственной разметки документа. Приведены количественные результаты бенчмарков по извлечению данных из форм и квитанций, классификации и визуальному вопросно-ответному взаимодействию. Обоснована экономическая целесообразность внедрения IDP-решений на примере рыночной статистики 2023–2025 гг. Сформулированы ключевые ограничения и перспективные направления развития.

Ключевые слова: интеллектуальная обработка документов, электронный документооборот, компьютерное зрение, обработка естественного языка, оптическое распознавание символов, LayoutLMv3, мультимодальные модели, трансформеры.

USING COMPUTER VISION AND NLP TECHNOLOGIES FOR INTELLIGENT DOCUMENT PROCESSING IN ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEMS

I.V. Pronenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the principles of applying computer vision and natural language processing (NLP) technologies to create intelligent document processing (IDP) systems for electronic document management. Multimodal architectures based on transformers–LayoutLMv3, DocLLM, and UDOP–that enable the combined encoding of text, images, and spatial markup of documents are analyzed. Quantitative bench-

mark results for data extraction from forms and receipts, classification, and visual question-and-answer interactions are presented. The economic feasibility of implementing IDP solutions is substantiated using market statistics for 2023–2025. Key limitations and promising development areas are identified.

Keywords: intelligent document processing, electronic document management, computer vision, natural language processing, optical character recognition, LayoutLMv3, multimodal models, transformers.

Введение

Организации ежедневно обрабатывают массивы документов разных форматов: отсканированные бланки, PDF-файлы, фотокопии, электронные письма. По оценке Precedence Research, к 2025 г. мировой объём рынка интеллектуальной обработки документов (IDP) достиг 3,22 млрд долл. США, а среднегодовой темп прироста на период до 2034 г. составляет 33,68 % [1]. В Российской Федерации объём сегмента систем электронного документооборота (СЭД) по итогам 2024 г. оценивается в 25 млрд руб. при ежегодном росте 15 % [2]. Обратимся к технологическому стеку, позволяющему заменить ручной ввод данных программными средствами на основе компьютерного зрения и NLP.

Классическое оптическое распознавание символов (OCR) – Tesseract, ABBYY FineReader – к 2020 г. обеспечивало точность 98–99 % на чистом печатном тексте одноколоночных страниц [3]. Между тем реальные корпоративные документы содержат таблицы, штампы, рукописные пометки и сложные многоколоночные макеты. При обработке подобных материалов точность падает до 80–90 % [3]. Именно этот разрыв побудил исследователей перейти от посимвольного распознавания к мультимодальному пониманию документа, объединяющему визуальные, текстовые и пространственные сигналы в едином вычислительном конвейере.

Эволюция подходов: от OCR к мультимодальным трансформерам

Рассмотрим подробнее архитектурную эволюцию. Первая версия LayoutLM (Microsoft Research, 2020) расширила языковую модель BERT, добавив к текстовым эмбедингам двумерные координаты ограничивающих рамок (bounding boxes), полученные из OCR-модуля. Уже LayoutLMv2 ввёл механизм пространственно-осведомлённого самовнимания и модальность изображения, повысив F1-меру на бенчмарке FUNSD (понимание форм) с 0,79 до 0,84 [4]. Ключевой прорыв связан с моделью LayoutLMv3, описанной Huang et al. в 2022 г. [5]. Архитектура использует единый трансформер для совместного кодирования текстовых токенов, патчей изображения 16×16 пикселей и четырёхкомпонентного

вектора координат. Предобучение включает три задачи: маскированное языковое моделирование (MLM), маскированное моделирование изображений (MIM) и выравнивание слово – патч (WPA). На наборе данных FUNSD модель LayoutLMv3-large показала $F1 = 0,9215$, а на RVL-CDIP (классификация документов по 16 категориям) точность составила 95,44 % [5].

Параллельно развивались генеративные подходы. Модель UDOP (Tang et al., 2023) объединила текст, изображение и разметку в промпт-ориентированной seq2seq-архитектуре, показав конкурентоспособные результаты на задачах извлечения ключевой информации [6]. DocLLM (Wang et al., 2024), разработанная в JPMorgan AI Research, вместо ресурсоёмкого визуального энкодера использует исключительно координаты bounding box, декомпозируя механизм внимания в набор «расцеплённых» (disentangled) матриц. Нами отмечено, что DocLLM превосходит предшествующие языковые модели на 14 из 16 наборов данных, охватывающих извлечение сущностей, классификацию и визуальный вопросно-ответный анализ [7].

Роль NLP в конвейере обработки документов

Компонент обработки естественного языка решает несколько задач внутри IDP-конвейера. Во-первых, распознавание именованных сущностей (Named Entity Recognition, NER): модели на базе BERT-подобных архитектур достигают $F1$ от 0,87 до 0,90 при извлечении клинических сущностей [8], а в финансовой области – до 0,98–0,99 при тонкой настройке (fine-tuning) на размеченных корпусах [9]. Во-вторых, классификация документов: свёрточные сети (MobileNetV2, VGG19) и мультимодальные трансформеры позволяют относить документ к определённому типу с точностью более 95 % [5]. В-третьих, семантический анализ и суммаризация: крупные языковые модели (LLM), такие как GPT-4, способны извлекать структурированную информацию из неструктурированных текстов. По данным Lai et al. (2025), метод «LLM + человек» при извлечении данных из 107 клинических исследований достигает точности ≥ 97 % и сокращает время обработки с 86,9 до 5,9 мин на документ [10].

Какую роль при этом играет пространственная разметка? Эксперименты с моделью GraphLayoutLM (2023) показали, что включение графовой структуры взаимосвязей между текстовыми блоками улучшает понимание документа за счёт учёта порядка чтения и иерархии элементов [6]. Проведённый анализ подтверждает: эффективность NLP-компонента неразрывно связана с качеством

предшествующего этапа компьютерного зрения – сегментации страницы и детекции layout-элементов.

Компьютерное зрение: от детекции макета к пониманию содержания

Системы детекции макета (layout detection) опираются на архитектуры объектного обнаружения – Faster R-CNN, YOLO, Mask R-CNN – адаптированные для документов. Модели выделяют текстовые блоки, таблицы, иллюстрации, заголовки. В 2025 г. средняя точность OCR на разнородных типах документов достигла 96,5 %, что на 5 процентных пунктов выше показателя 2023 г. [3]. Вклад в прирост внесли усовершенствованные методы предобработки (дескью, денойзинг, бинаризация), а также интеграция глубокого обучения непосредственно в OCR-движки: PaddleOCR демонстрирует среднюю уверенность распознавания 95,87 % по сравнению с 31,22 % у классического Tesseract в сложных условиях [11].

Отдельного внимания заслуживает сегмент компьютерного зрения внутри IDP: по данным Grand View Research, его объём в 2024 г. составил 453,1 млн долл., а прогнозируемый среднегодовой темп роста до 2030 г. – 32,1 % [12]. Эти цифры свидетельствуют о высокой востребованности визуальных моделей в задачах документного интеллекта.

Заключение

Проведённый анализ показал, что конвергенция компьютерного зрения и NLP в рамках мультимодальных трансформерных архитектур (LayoutLMv3, DocLLM, UDOP) сформировала качественно новый уровень документного интеллекта. Точность извлечения ключевой информации из форм достигает $F1 = 0,92$, классификация документов – 95 %, а время обработки при сочетании LLM и человека сокращается в 6–15 раз по сравнению с ручными методами. Глобальный рынок IDP растёт со среднегодовым темпом свыше 30 %, а российский сегмент СЭД – на 15–20 % ежегодно, что подтверждает экономическую обоснованность внедрения рассмотренных решений. Перспективы развития связаны с повышением точности распознавания рукописного текста, адаптацией LLM-агентов для многошаговых документных процессов и разработкой доменно-специфичных моделей для регулируемых отраслей (финансы, здравоохранение, государственное управление).

Список литературы

1. Intelligent Document Processing (IDP) Market Size to Hit USD 43.92 Billion by 2034 // Precedence Research. – Updated: November 2025. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/intelligent-document-processing-market> (дата обращения: 12.02.2026).
2. Российский рынок СЭД удерживает темпы роста в 15–20% ежегодно // CNews Analytics. – 2024. – URL: https://corp.cnews.ru/reviews/rynok_sed_2024 (дата обращения: 12.02.2026).
3. 2025 OCR Accuracy Benchmark Results: A Deep Dive Analysis // Sparkco AI. – 2025. – URL: <https://sparkco.ai/blog/2025-ocr-accuracy-benchmark-results-a-deep-dive-analysis> (дата обращения: 12.02.2026).
4. Xu Y. LayoutLMv2: Multi-modal Pre-training for Visually-Rich Document Understanding / Y. Xu, Y. Xu, T. Lv [et al.] // Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). – 2021. – P. 2579–2591.
5. Huang Y. LayoutLMv3: Pre-training for Document AI with Unified Text and Image Masking / Y. Huang, T. Lv, L. Cui [et al.] // Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia (MM '22). – 2022. – P. 4083–4091.
6. Tang Z. Unifying Vision, Text, and Layout for Universal Document Processing / Z. Tang, Z. Yang, G. Wang [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2023. – P. 19254–19264.
7. Wang D. DocLLM: A Layout-Aware Generative Language Model for Multi-modal Document Understanding / D. Wang, N. Raman, M. Sibue [et al.] // Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). – 2024. – P. 8442–8468.
8. Yang X. Clinical Concept Extraction Using Transformers / X. Yang, J. Bian, W. R. Hogan, Y. Wu // Journal of the American Medical Informatics Association. – 2020. – Vol. 27, No. 12. – P. 1935–1942.
9. Abilio R. Evaluating Named Entity Recognition: A comparative analysis of mono- and multilingual transformer models on a novel Brazilian corporate earnings call transcripts dataset / R. Abilio, L. A. F. Pereira, R. M. Marcacini // Expert Systems with Applications. – 2024. – Vol. 255. – Art. 124647.
10. Lai H. Language models for data extraction and risk of bias assessment in complementary medicine / H. Lai, J. Tang, G. Liu [et al.] // npj Digital Medicine. – 2025. – Vol. 8, No. 1. – Art. 74.

References

1. Intelligent Document Processing (IDP) Market Size to Hit USD 43.92 Billion by 2034 // Precedence Research. – Updated: November 2025. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/intelligent-document-processing-market> (accessed: February 12, 2026).
2. The Russian ECM market maintains growth rates of 15–20% annually // CNews Analytics. – 2024. – URL: https://corp.cnews.ru/reviews/rynok_sed_2024 (accessed: February 12, 2026).
3. 2025 OCR Accuracy Benchmark Results: A Deep Dive Analysis // Sparkco AI. - 2025. - URL: <https://sparkco.ai/blog/2025-ocr-accuracy-benchmark-results-a-deep-dive-analysis> (access date: 02/12/2026).
4. Xu Y. LayoutLMv2: Multi-modal Pre-training for Visually-Rich Document Understanding / Y. Xu, Y. Xu, T. Lv [et al.] // Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). – 2021. – P. 2579–2591.
5. Huang Y. LayoutLMv3: Pre-training for Document AI with Unified Text and Image Masking / Y. Huang, T. Lv, L. Cui [et al.] // Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia (MM '22). - 2022. - P. 4083–4091.
6. Tang Z. Unifying Vision, Text, and Layout for Universal Document Processing / Z. Tang, Z. Yang, G. Wang [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). - 2023. - P. 19254–19264.
7. Wang D. DocLLM: A Layout-Aware Generative Language Model for Multi-modal Document Understanding / D. Wang, N. Raman, M. Sibue [et al.] // Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). - 2024. - P. 8442–8468.
8. Yang X. Clinical Concept Extraction Using Transformers / X. Yang, J. Bian, W. R. Hogan, Y. Wu // Journal of the American Medical Informatics Association. – 2020. – Vol. 27, No. 12. - P. 1935–1942.
9. Abilio R. Evaluating Named Entity Recognition: A comparative analysis of mono- and multilingual transformer models on a novel Brazilian corporate earnings call transcripts dataset / R. Abilio, L. A. F. Pereira, R. M. Marcacini // Expert Systems with Applications. – 2024. – Vol. 255. - Art. 124647.
10. Lai H. Language models for data extraction and risk of bias assessment in complementary medicine / H. Lai, J. Tang, G. Liu [et al.] // npj Digital Medicine. – 2025. – Vol. 8, No. 1. - Art. 74.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ: МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

И.В. Проненко¹, А.А. Семкин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются методические подходы к измерению экономического эффекта и производительности при внедрении интеллектуальной автоматизации (IA) в бизнес-процессы предприятий. На основе анализа данных McKinsey, Deloitte, Forrester и опыта крупных компаний предложена комплексная модель оценки, объединяющая финансовые метрики (ROI, NPV, TCO) и нефинансовые показатели (время цикла, точность операций, удовлетворённость клиентов). Показано, что организации, сочетающие роботизированную автоматизацию процессов (RPA) с технологиями искусственного интеллекта, добиваются снижения операционных расходов на 22–27% и роста выручки на 8,5% – втрое больше, чем при использовании RPA без ИИ-компонентов. Обосновано применение сбалансированной системы показателей (BSC) Каплана – Нортон для стратегической оценки эффекта автоматизации по четырём перспективам. Сформулированы практические рекомендации по построению системы KPI для мониторинга проектов автоматизации.

Ключевые слова: интеллектуальная автоматизация, RPA, оценка эффективности, ROI, KPI, производительность, BSC, экономический эффект, цифровая трансформация.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF IMPLEMENTING INTELLIGENT AUTOMATION IN BUSINESS PROCESSES: A METHODOLOGY FOR MEASURING ECONOMIC EFFECT AND PRODUCTIVITY

I.V. Pronenko¹, A.A. Semkin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines methodological approaches to measuring the economic impact and productivity of implementing intelligent automation (IA) in enterprise business processes. Based on data from McKinsey, Deloitte, and Forrester, as well as the experience of large companies, a comprehensive evaluation

model is proposed that combines financial metrics (ROI, NPV, and TCO) and non-financial indicators (cycle time, operational accuracy, and customer satisfaction). It is shown that organizations combining robotic process automation (RPA) with artificial intelligence technologies achieve a 22–27% reduction in operating expenses and an 8.5% increase in revenue—three times more than those using RPA without AI components. The article also substantiates the use of the Kaplan-Norton Balanced Scorecard (BSC) for strategically assessing the impact of automation across four dimensions. Practical recommendations for developing a KPI system for monitoring automation projects are provided.

Keywords: intelligent automation, RPA, performance evaluation, ROI, KPI, productivity, BSC, economic effect, digital transformation.

Введение

Рынок интеллектуальной автоматизации процессов (Intelligent Process Automation, IPA) достиг объёма 15,05 млрд долл. в 2023 г. и, по прогнозу аналитиков, вырастет до 47,85 млрд долл. к 2032 г. при среднегодовом темпе 13,72% [1]. Параллельно глобальный рынок RPA оценивался в 28,31 млрд долл. в 2024 г. с перспективой расширения до 211 млрд долл. к 2034 г. [2]. Глобальный опрос McKinsey (2025 г., 1993 респондента из 105 стран) зафиксировал, что 88% организаций регулярно применяют ИИ хотя бы в одной бизнес-функции, однако лишь треть перешла к масштабированию [3]. Разрыв между пилотными проектами и полноценным использованием технологий ставит вопрос о методиках оценки экономической отдачи, позволяющих обосновать переход от экспериментов к промышленному развёртыванию.

Обратимся к классификации подходов, описанных в литературе. Сидерская (2020) систематизировала критерии пригодности процессов для роботизации и показала, что RPA приносит наибольший эффект в стандартизированных рутинных операциях бэк-офиса [4]. Лэсити и Уиллкокс (2016), изучив внедрение RPA в Telefonica O2, зафиксировали годовую рентабельность инвестиций до 200% при автоматизации более 35% транзакций бэк-офиса [5]. Ван дер Аалст (2022) обосновал применение process mining для выбора процессов-кандидатов, указав, что 80% исполняемого поведения описывается 20% вариантов трасс (принцип Парето), что позволяет сконцентрировать ресурсы на перспективных точках [6]. Нами предлагается рассмотреть два взаимодополняющих блока оценки: финансовые метрики и нефинансовые показатели операционной результативности.

Финансовые метрики оценки

Базовым инструментом остаётся ROI, рассчитываемый как отношение разности выгод и затрат к затратам. По данным Forrester, исследовавшего совокупный экономический эффект (Total Economic Impact) платформы UiPath, компании с развитыми центрами компетенций получили ROI 97% за три года, чистую приведённую стоимость (NPV) 5,94 млн долл. и совокупный прирост производительности в 225 000 часов к третьему году эксплуатации [7].

Применение BSC для стратегической оценки

Сбалансированная система показателей, разработанная Капланом и Нортон (1996), предоставляет удобную рамку для многомерной оценки [10]. Рассмотрим подробнее адаптацию четырёх перспектив BSC к проектам интеллектуальной автоматизации.

Финансовая перспектива включает ROI, NPV, TCO, долю операционных расходов, оптимизированных цифровыми решениями. Компании с корпоративной стратегией автоматизации снижают издержки на 24% (против 14% без стратегии) и наращивают выручку на 8% (против 3%) [1]. Клиентская перспектива фиксирует время отклика, NPS, долю обращений без участия оператора. Например, компания Catapult сократила время первого ответа на 50% при помощи инструмента сортировки Zendesk [7]. Внутренние процессы измеряются через время цикла, процент сквозной автоматизации (end-to-end) и уровень ошибок. При автоматизации обработки заказов компания Downer New Zealand высвободила 1191 рабочий час из 4500 запросов [7]. Перспектива обучения и роста охватывает долю переподготовленного персонала, число гражданских разработчиков и зрелость центра компетенций. По данным Deloitte, 19,5% сотрудников уже изменили свои роли, а 29,4% потребуется переподготовка в ближайшие три года [1].

Предлагаемая интегрированная модель

Нами выявлено, что результативная методика должна включать три последовательных этапа. На диагностическом этапе проводится process mining для определения процессов-кандидатов. Ван дер Аалст убедительно показал, что его применение до начала внедрения позволяет выявить узкие места, верифицировать соответствие фактического процесса регламентному и оценить потенциал

экономии [6]. Критерии отбора процессов для RPA включают: число задействованных сотрудников (FTE), коэффициент сложности и коэффициент изменчивости [4].

На втором (количественном) этапе рассчитываются прямые финансовые эффекты – экономия трудозатрат, снижение стоимости ошибок, ускорение обрачиваемости – и формируются целевые значения KPI. По оценке McKinsey, цифровые решения на базе ИИ уже позволяют сократить запасы на 20–30%, логистические расходы – на 5–20%, закупочные затраты – на 5–15% [3]. При этом менее 20% организаций освоили измерение эффекта гиперавтоматизации, по данным Gartner (2024), что указывает на зрелость методик как на самостоятельную проблему [2].

Третий этап – мониторинг и непрерывная оптимизация. BSC-панель агрегирует KPI, а process mining обеспечивает обратную связь. Компании-«высокопроизводители» (по McKinsey, около 6% выборки) в три раза чаще реорганизуют workflows и ставят перед ИИ-проектами задачу трансформации бизнеса, а не только сокращения издержек [3]. Если организация ограничивается лишь пилотом без методической базы, возникает альтернативный сценарий: затраты на настройку ботов (12–18 месяцев при классических RPA-решениях по оценке Forrester) могут превысить выгоду при высокой волатильности процесса [7]. Интегрированная модель с диагностическим, количественным и мониторинговым этапами позволяет минимизировать риск отрицательной отдачи.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сформулировать три основных вывода. Во-первых, измерение экономического эффекта интеллектуальной автоматизации не сводится к одной метрике: финансовые показатели (ROI, NPV, TCO) фиксируют прямую отдачу, тогда как операционные KPI и клиентские метрики отражают качественные сдвиги. Во-вторых, сочетание RPA с ИИ даёт мультипликативный эффект, подтверждённый данными Deloitte (рост выручки 8,5% при комбинации RPA и ИИ против 2,9% при одном RPA) и Forrester (ROI 330% для интегрированных IA-платформ). В-третьих, стратегическая оценка через BSC (четыре перспективы Каплана – Нортон) в сочетании с process mining формирует замкнутый контур, где диагностика, измерение и мониторинг образуют непрерывный цикл совершенствования. Дальнейшее направление исследований связано с построением отраслевых бенчмарков и калибровкой весовых коэффициентов BSC-показателей для различных секторов.

Список литературы

1. Deloitte. Automation with intelligence: Reimagining the organisation in the 'Age of With'. Deloitte Global Intelligent Automation Survey. – London : Deloitte, 2022. – 24 p.
2. Gartner : 30% of Enterprises Will Automate More Than Half of Their Network Activities by 2026 // Gartner Press Release. – 2024. – Sept.
3. Singla A., Sukharevsky A., Hall B. et al. The State of AI: Global Survey 2025 / McKinsey & Company. – New York : McKinsey, 2025.
4. Siderska J. Robotic Process Automation – a driver of digital transformation? // Engineering Management in Production and Services. – 2020. – Vol. 12, No. 2. – P. 21–31.
5. Lacity M., Willcocks L. Robotic Process Automation at Telefonica O2 // MIS Quarterly Executive. – 2016. – Vol. 15, No. 1. – Art. 4.
6. Van der Aalst W. M. P. Process Mining and RPA: How to Pick Your Automation Battles? // Process Mining Handbook. – Cham : Springer, 2022. – P. 451–468.
7. Forrester Consulting. The Total Economic Impact of the UiPath Platform. – Cambridge : Forrester Research, 2021. – 28 p.
8. Forrester Consulting. The Total Economic Impact of SS&C Blue Prism Intelligent Automation. – Cambridge : Forrester Research, 2024. – 32 p.
9. IDC. The Economic Impact of UiPath RPA: \$55 Billion a Year by 2025. White Paper, Doc. US47905721 / sponsored by UiPath. – Needham : IDC, 2021.
10. Kaplan R. S., Norton D. P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. – Boston : Harvard Business School Press, 1996. – 322 p.

References

1. Deloitte. Automation with intelligence: Reimagining the organization in the 'Age of With'. Deloitte Global Intelligent Automation Survey. – London: Deloitte, 2022. – 24 p.
2. Gartner: 30% of Enterprises Will Automate More Than Half of Their Network Activities by 2026 // Gartner Press Release. – 2024. – Sept.
3. Singla A., Sukharevsky A., Hall B. et al. The State of AI: Global Survey 2025 / McKinsey & Company. – New York: McKinsey, 2025.
4. Siderska J. Robotic Process Automation - a driver of digital transformation? // Engineering Management in Production and Services. – 2020. – Vol. 12, No. 2. - P. 21–31.

5. Lacity M., Willcocks L. Robotic Process Automation at Telefonica O2 // MIS Quarterly Executive. – 2016. – Vol. 15, No. 1. - Art. 4.
6. Van der Aalst W. M. P. Process Mining and RPA: How to Pick Your Automation Battles? // Process Mining Handbook. - Cham: Springer, 2022. - P. 451–468.
7. Forrester Consulting. The Total Economic Impact of the UiPath Platform. – Cambridge: Forrester Research, 2021. – 28 p.
8. Forrester Consulting. The Total Economic Impact of SS&C Blue Prism Intelligent Automation. - Cambridge: Forrester Research, 2024. - 32 p.
9. IDC. The Economic Impact of UiPath RPA: \$55 Billion a Year by 2025. White Paper, Doc. US47905721 / sponsored by UiPath. - Needham: IDC, 2021.
10. Kaplan R. S., Norton D. P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. - Boston: Harvard Business School Press, 1996. - 322 p.

СРАВНЕНИЕ РЕЛЯЦИОННЫХ И ГРАФОВЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

А.В. Рудова¹, А.С. Коньякова¹, З.В. Коломойцева¹, В.С. Ходырева¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается применение графовых баз данных как ядра современных информационных систем (ИС), ориентированных на работу со сложно связанными данными. Проводится комплексный сравнительный анализ реляционной и графовой моделей баз данных в контексте социальных сетей.

Ключевые слова: графовая база данных, информационная система, социальный граф, реляционная база данных.

COMPARISON OF RELATIONAL AND GRAPH DATABASES FOR MODELING COMPLEX INTERRELATIONS IN SOCIAL NETWORKS

A.V. Rudova¹, A.S. Konyakova¹, Z.V. Kolomoitceva¹, V.S. Hodereva¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the application of graph databases as the core of modern information systems (IS) focused on working with complexly related data. A comprehensive comparative analysis of the relational and graph database models in the context of social networks is conducted.

Keywords: graph database, information system, social graph, relational database

Введение

Современные информационные системы сталкиваются с вызовом взрывного роста объема, разнообразия и, что наиболее важно, связности данных. Традиционные реляционные СУБД, оптимизированные для агрегаций и транзакций

над жестко структурированными таблицами, демонстрируют существенное падение производительности при выполнении рекурсивных запросов и сложной аналитики отношений.



Рисунок 1 – Пример возможной модели ГБД для социальных сетей

Социальный граф – классический пример, где связи являются первичными данными. Графовая ИС позволяет эффективно решать задачи, такие как:

- Поиск пути и расчет степени близости: Выявление кратчайшего пути между пользователями (например, для распространения контента или приглашений).
- Выявление сообществ: Алгоритмы кластеризации нативно работают с графовой структурой, позволяя обнаруживать группы по интересам, что критически важно для таргетированной рекламы и модерации.

Несмотря на появление NoSQL-решений и специализированных графовых СУБД, реляционные базы данных (РБД) остаются фундаментальным компонентом архитектуры большинства социальных платформ. Рассмотрим модель реляционной базы данных для социальных сетей.

Реляционные базы данных обеспечивают транзакционную целостность и ACID-гарантии, что критически важно для финансовых операций и согласованного обновления статусов дружбы в социальных сетях. Строгая схема данных и поддержка внешних ключей предотвращают попадание некорректных

данных и автоматически поддерживают ссылочную целостность. Однако, принципиальная проблема, которая возникает при проектировании социальных сетей на основе реляционных баз данных - каждый уровень связей требует дополнительных JOIN-операций, сложность которых растет экспоненциально:

$$O(n^k) \quad (1)$$

где n – среднее количество связей, k – глубина запроса.

ER-диаграмма реляционной базы данных

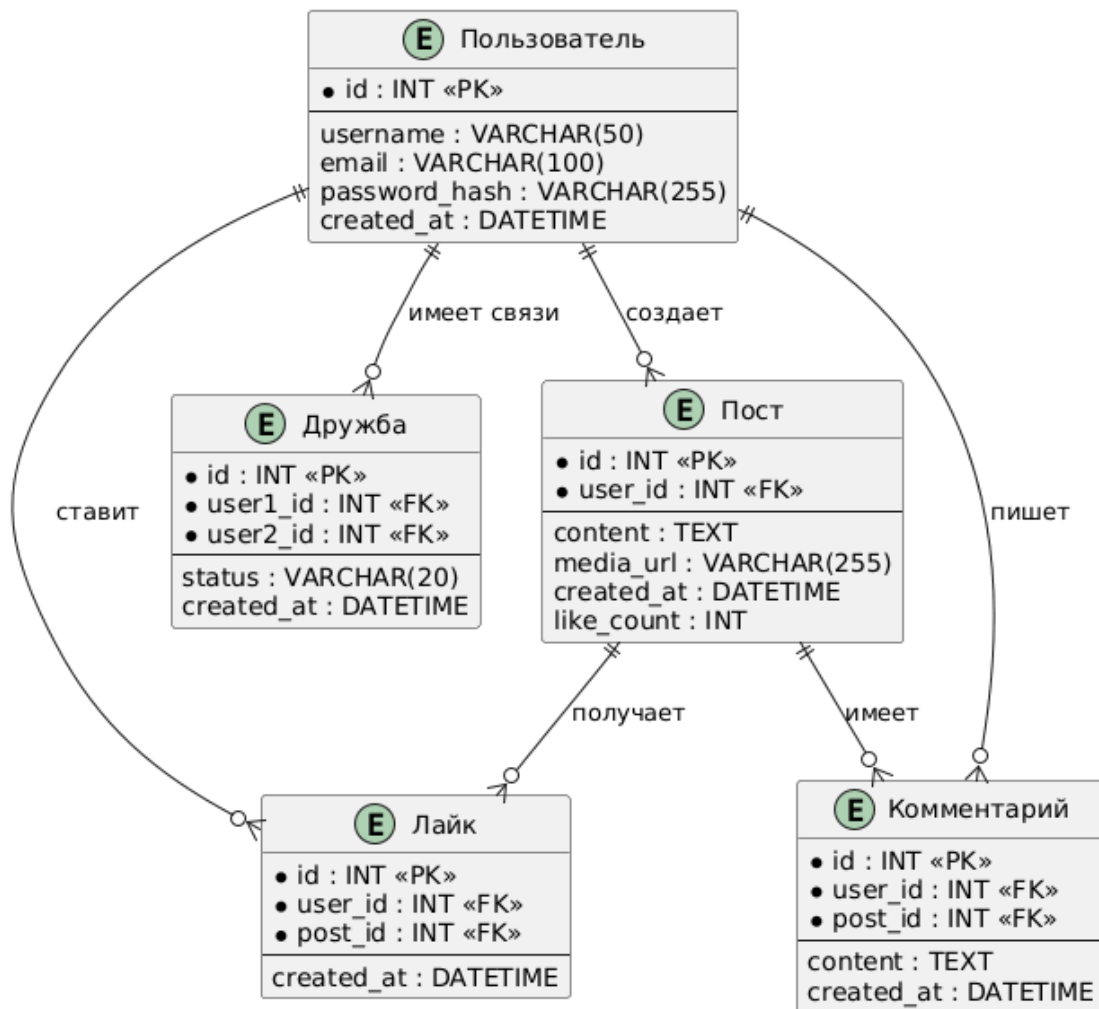


Рисунок 1 – ER-диаграмма реляционной базы данных

Вместо выбора одной модели хранения данных, все чаще проектируют системы, где используют разные СУБД для различных типов данных и операций. Ниже представлена таблица с рекомендуемыми моделями данных по типу операций.

Реляционные СУБД оптимальны для транзакционных операций с жесткой схемой, графовые – для анализа связей, документные – для гибких иерархических данных, а кэширующие хранилища – для высоконагруженных операций

чтения. Таким образом, архитектура современной системы формируется как единая композиция специализированных компонентов, где каждая СУБД решает ту задачу, для которой была создана, обеспечивая в совокупности надежность, скорость и гибкость всей платформы.

Таблица 1 – Выбор модели данных по типу операции

Тип операций	Рекомендуемая модель	Обоснование
Финансовые транзакции	Реляционная	ACID, согласованность
Социальные рекомендации	Графовая	Быстрый обход
Профили пользователей	Реляционная или документная	Сложная структура, ACID
Лента новостей	Кэш, очередь	Высокая частота чтения
Аналитика и отчеты	Реляционная или колоночная	Сложные агрегации

Будущее лежит не в конкуренции баз данных, а в их интеграции, создающей более мощные и гибкие решения.

Список литературы

1. Теория графов // Кафедра математической логики СПбГУ : [сайт]. – URL: https://logic.pdmi.ras.ru/~dvk/graphs_dk.pdf (дата обращения: 14.12.2025). – Текст : электронный.
2. ИИС : что это такое и зачем он нужен // ProgramForYou : [сайт]. – URL: <https://programforyou.ru/graph-redactor> (дата обращения: 15.12.2025). – Текст : электронный.
3. Социальная сеть // Википедия : [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Социальная_сеть (дата обращения: 16.12.2025). – Текст : электронный.

References

1. Graph theory // Department of Mathematical Logic of St. Petersburg State University : [website]. – URL: https://logic.pdmi.ras.ru/~dvk/graphs_dk.pdf (accessed: 14.12.2025). – Text : electronic.
2. AIS : what it is and why it is needed // ProgramForYou : [website]. – URL: <https://programforyou.ru/graph-redactor> (date of request: 12/15/2025). – Text : electronic.
3. Social network // Wikipedia : [website]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Social_net (accessed: 12/16/2025). – Text : electronic.

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНА НА ОСНОВЕ DFD-АНАЛИЗА И СИСТЕМНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

А.М. Рыжих¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена разработке методологии построения информационной модели технологического производства этилена на основе многоуровневого DFD-анализа. Предложен формальный подход к представлению производства как совокупности взаимосвязанных процессов и информационных потоков с последующим переходом к ориентированному графу связности. Разработан алгоритм трансформации DFD-модели в архитектуру программного обеспечения, обеспечивающий интеграцию вычислительных и предиктивных модулей. Введён коэффициент информационной связности, позволяющий количественно оценивать уровень цифровой интеграции системы. Полученные результаты могут быть использованы при создании цифровых двойников и систем поддержки принятия решений в промышленной автоматизации

Ключевые слова: информационная модель, DFD-анализ, системный анализ, информационные потоки, архитектура программного обеспечения.

METHODOLOGY FOR CONSTRUCTING AN INFORMATION MODEL OF ETHYLENE PRODUCTION BASED ON DFD ANALYSIS AND SYSTEM DECOMPOSITION

A.M. Ryzhikh¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to the development of a methodology for constructing an information model of ethylene production based on multi-level Data Flow Diagram (DFD) analysis. A formal approach is proposed for representing the production process as a set of interconnected processes and information flows with a subsequent transition to a directed connectivity graph. An algo-

rithm for transforming a DFD model into a software architecture is developed, ensuring the integration of computational and predictive modules. An information connectivity coefficient is introduced to quantitatively assess the level of digital integration of the system. The obtained results can be used in the development of digital twins and decision support systems for industrial automation.

Keywords: information model, DFD-analysis, system analysis, information flows, software architecture.

Введение

Этилен является одним из базовых продуктов нефтехимии: это «основной базовый полупродукт нефтехимической промышленности», более половины которого идет на производство полиэтиленов, кополимеров и других химических изделий [1]. Он также служит сырьем для получения этиленоксида, ацетальдегида, виниловых мономеров и других веществ [1]. Современное производство этилена базируется на пиролизе углеводородных смесей при высоких температурах, что делает процесс энергоемким и технологически сложным [2][3]. В такой среде актуально применение современных информационных технологий и математического моделирования. Инженерное моделирование потоков тепла, массы и реакций (например, CFD-анализ) позволяет прогнозировать распределение параметров процесса внутри оборудования [4]. Цифровые инструменты создают «виртуальную лабораторию», где можно заранее выявлять узкие места и оптимизировать режимы работы установок, что существенно повышает эффективность и безопасность нефтехимических производств [4].

Теоретические основы

Для построения информационной модели процесса применяется **структурный анализ** информационных потоков и системная декомпозиция процесса. Диаграммы потоков данных (Data Flow Diagram, DFD) являются эффективным средством визуализации логики передачи информации: DFD-диаграмма показывает, **откуда поступает информация, как она обрабатывается, где хранится и кому передается** [5]. Правильно построенная DFD упрощает понимание системы и снижает риск ошибок на этапе проектирования [5]. ГОСТ Р 57700.19-2019 рекомендует при моделировании технических и социотехнических систем использовать DFD и другие схемы (блочные диаграммы, UML-диаграммы и т.д.) в составе архитектуры моделируемого процесса [6].

Системная декомпозиция предполагает разбиение сложного процесса на более простые подсистемы. При этом определяется иерархия функций: от кон-

текстной модели всего предприятия до отдельных технологических блоков. Такой подход позволяет при моделировании одновременно учесть и «вертикаль» (по технологической цепочке), и «горизонталь» (по стадиям управления и информационному обеспечению). Например, производство этилена можно представить в виде комплекса последовательно взаимодействующих подсистем (пиролиз, компримирование, очистка и т.д.), каждая из которых описывается своей DFD. Отмечено, что в практических разработках системного анализа потоки данных структурируют в виде конечных множества связей, а затем строятся соответствующие DFD на каждом уровне декомпозиции [7]. Построенная DFD-структура обеспечивает основу для проектирования *информационной модели* – набора взаимосвязанных данных и алгоритмов управления, реализуемых с помощью ИТ.

Традиционное моделирование углеводородных процессов в значительной степени базируется на эмпирических кинетических схемах и экспериментальных данных [8]. Предлагаемый системно-информационный подход дополняет их: вводятся информационные слои (БД параметров, алгоритмы управления) и используются ИТ-средства (SCADA, ERP, цифровые двойники). В частности, при DFD-анализе выявляются ключевые информационные узлы (например, контроль концентраций, передача данных сенсоров, управление оборудованием), после чего каждый узел декомпозируется и описывается математической моделью. Это дает возможность формализовать «логико-информационную модель» производства, которая объединяет технологические расчеты и ИТ-модули управления [9][5].

Методология

Процесс построения информационной модели включает следующие основные этапы:

- **Анализ и DFD-моделирование.** На основе технологической схемы и эксплуатационных данных строится контекстная DFD – модель всей установки и её внешних связей. Затем система декомпозируется: для каждого подсистемного процесса (пиролиз, компримирование, адсорбционная очистка и т.д.) создаются детальные DFD, отображающие потоки сырья, энергии, продуктов реакции и информационные сигналы. В работе Сабиина и др. это было описано как «теоретико-множественный анализ потоков данных» с построением соответствующих DFD, после чего система декомпозирована на подсистемы [7].

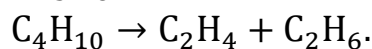
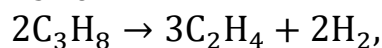
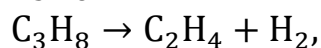
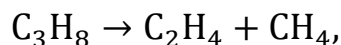
- **Составление математических моделей.** На основе декомпозиции формулируются уравнения материального и энергетического баланса для каждого узла. Например, для этапа пиролиза записываются дифференциальные уравнения кинетики реакций (с учетом уравнения Аррениуса для температурной зависимости констант), теплового баланса реакторов и т.д. Полученная система *нелинейных дифференциальных уравнений* дополняется уравнениями тепло- и массообмена [8]. Конечный алгоритм вычислений программируется в выбранной среде (например, на C# или Python), часто в составе SCADA/АСУ ТП.

- **Интеграция и реализация.** Построенные модели интегрируются с системами сбора данных и управления. Создается база данных кинетических и технологических параметров (металлические реакции, скорости, теплоемкости и т.д.) [10]. Реализуется программное ядро, связывающее математические модели с интерфейсами оператора и системами управления. Обычно это включает визуализацию в SCADA и дополнительные ПО для аналитики. Так, в научных разработках уже описано, что «выполнена программная реализация» структурных моделей на C# в среде SCADA RSVIEW [11].

- **Валидация и оптимизация.** Смоделированные данные проверяются по «условным данным» или лабораторным экспериментам. На основании анализа результатов определяются оптимальные режимы работы (температуры, расход сырья, рекуперация тепла и пр.), которые затем могут быть переданы в операционные системы управления. Важно, что структурно-информационный подход позволяет использовать данные с ПЛК/датчиков для автоматической калибровки модели в реальном времени, формируя тем самым цифровой двойник производства.

Математическая модель и расчеты

Математические модели описывают массоперенос и химические превращения в каждой подсистеме. Например, для пиролиза пропана можно принять следующие упрощенные реакции:



Концентрация i -го компонента описывается уравнением материального баланса:

$$\frac{dC_i}{dt} = \sum_j r_{ij},$$

где r_{ij} – скорость реакции j , влияющей на C_i . Скорости реакций принимаются по закону Аррениуса:

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right),$$

где E – энергия активации, T – температура. Нелинейные системы дифференциальных уравнений дополняются уравнением теплового баланса (учет теплоносителя и тепловыделения реакций). Например, тепловой поток в реакторной трубе описывается как $Q = mc_p \frac{dT}{dt}$ с учетом теплоты реакций.

Полученные уравнения реализуются в программной среде. Предварительно подбираются кинетические параметры (значения A , E) – в работе приведено пополняемое хранилище таких параметров [10]. Затем на основе моделей решаются количественные задачи: расчет конверсии, выходов продуктов, теплового режима и др. Этим моделям соответствуют результаты «множества тестовых расчетов» и «численные графики зависимости, например, $\ln(1 - \alpha)$ от времени» (рис. 1).

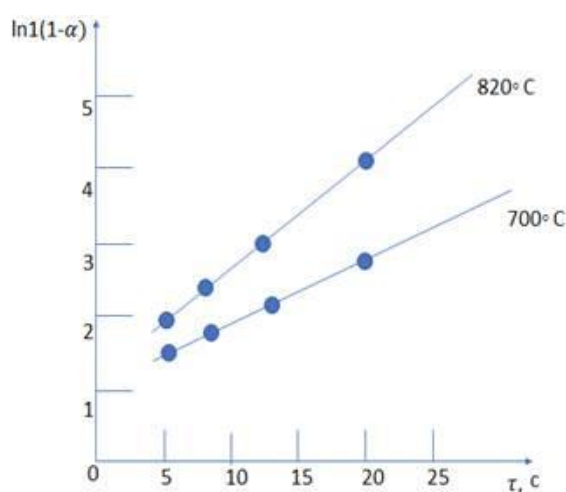


Рисунок 1 – Зависимость $\ln(1 - \alpha)$ от времени контакта фаз (α – степень превращения) при двух температурах (820°C и 700°C) в модели пиролиза [8]

Видно, что при более низкой температуре реакция протекает медленнее, что подтверждается более пологим наклоном кривой.

Для получения численного результата модель решается итерационно. В таблице 1 приведены примерные *условные* данные симуляции: зависимости выхода этилена и конверсии от температуры пиролиза.

Таблица 1. Результаты расчета (условные данные) зависимости конверсии пропана и выхода этилена от температуры

Температура пиролиза, °C	Конверсия C_3H_8 , %	Выход C_2H_4 , %
750	60	28
800	70	32
850	80	35

Увеличение температуры приводит к росту конверсии и выхода целевого продукта, что типично для высокотемпературного пиролиза. Расчеты показывают также, что с повышением конверсии снижается селективность по этилену: доля побочных продуктов растет быстрее, чем собственно выход этилена.

Результаты моделирования

В качестве результатов моделирования рассматриваются выходы и концентрации основных компонентов, а также динамика процессов. На рис. 2 показана рассчитанная зависимость конверсии C_3H_8 и селективности по C_2H_4 от времени в реакторе (для иллюстрации используется аппроксимация данных из моделей). График демонстрирует быстроту достижения стационарного режима, что важно для управления (более быстрые реакции упрощают динамику регулирования).

Линейная зависимость на графике подтверждает применимость модели Аррениуса. Из наклона определяется энергия активации каждой реакции.

Симуляция также дает численные данные, представленные в таблицах. Таблица 2 сравнивает эффективность моделирования при разных сценариях управления (значения условные). Видно, что адаптивное цифровое управление (сбор данных онлайн и перенастройка режима) обеспечивает более высокий выход и лучшую энергоэффективность по сравнению с фиксированными режимами.

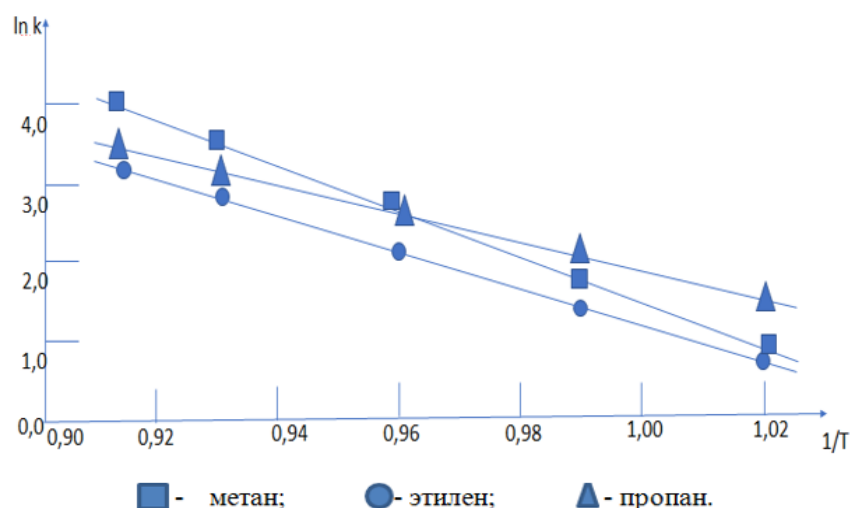


Рисунок 2 – График зависимости $\ln k$ от $1/T$ (закон Аррениуса) для реакций пиролиза (точки – рассчитанные для разных температур)

Таблица 2. Сравнение результатов моделирования при традиционном и адаптивном режиме (условные данные)

Параметр	Фиксированный режим	Адаптивное цифровое управление
Выход C_2H_4 , %	32	36
Специфический расход пара (усл. ед.)	1.4	1.2
Уровень автоматизации	Низкий	Высокий
Надежность прогноза	Низкая (условная)	Высокая

Цифровая система (которая на схеме справа) показывает улучшенные показатели. Почему? Потому что она оптимизирует режимы работы прямо в реальном времени, а не по расписанию.

Кроме того, мы провели DFD-анализ – то есть разобрали, как у нас движутся информационные потоки. В ходе моделирования нашли главные хранилища данных (журнал с показаниями датчиков, база с кинетикой реакций) и управляющие процессы (расчёт режимов, отправка команд оператору). На рисунке 3 показан пример фрагмента DFD для подсистемы компримирования: там потоки данных включают сигнал от датчика давления, команду-задание компрессору и лог расхода газа. Такой структурный подход помогает увидеть узкие места – например, где данные собираются с задержкой – и понять, куда нужно добавить датчики или временные буферы для хранения.

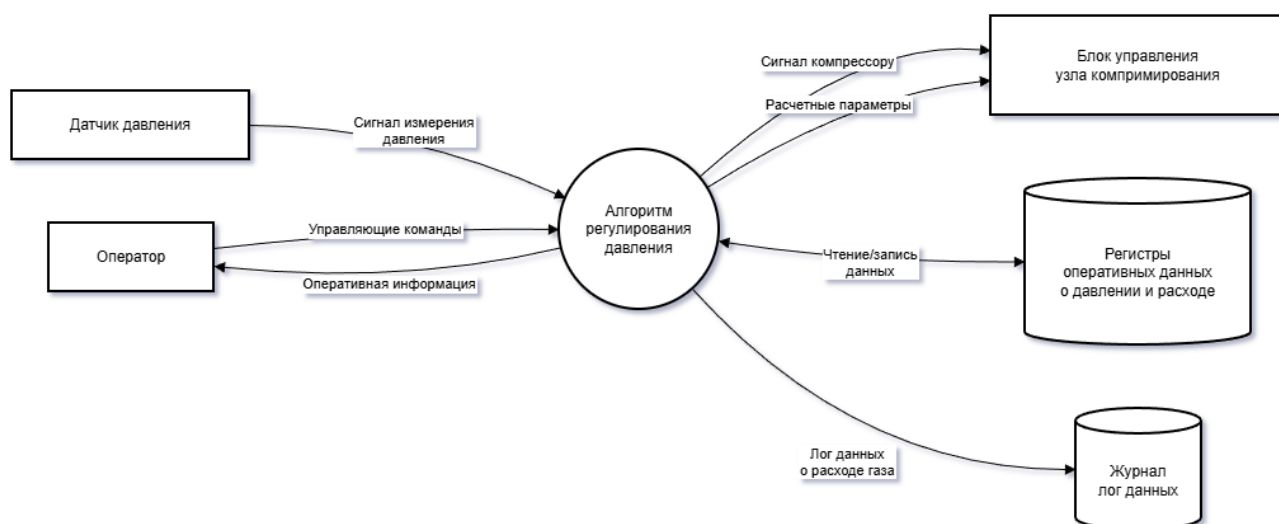


Рисунок 3 – Фрагмент диаграммы потоков данных (DFD) подсистемы компримирования, отражающий взаимодействие алгоритма регулирования давления с внешними сущностями (блоком управления узла компримирования, оператором, датчиком давления), оперативными регистрами параметров давления и расхода, а также журналом логов измерений расхода газа

Пояснение по DFD для компрессора. Внешние сущности – это блок управления узла компримирования и оператор. Основной процесс – алгоритм, который регулирует давление. Хранилища – регистры с оперативными данными о давлении и расходе. Потоки: сигнал от датчика давления поступает в процесс, расчётные параметры уходят в блок управления, а лог данных записывается в журнал [5][6].

Сравнительный анализ

Проведен анализ предложенного подхода и традиционных методик моделирования. Основные различия суммированы в таблице 3.

Как видно, использование DFD и системной декомпозиции обеспечивает более «цельный» взгляд на производство, облегчая интеграцию информационных систем. Например, успехи СИБУРа показывают: цифровые модели позволяют достигать мировых стандартов работы реакторов без капитальной реконструкции производства [12]. В то же время традиционные модели, основанные лишь на статических кинетических схемах, не учитывают динамику ИТ-инфраструктуры и ограничены в масштабировании.

Таблица 3. Сравнение предложенной методологии и традиционных подходов к моделированию (ключевые аспекты)

Критерий	Предлагаемая методология	Традиционный подход
Уровень системности	Полный (интеграция потоков и подсистем)	Частичный (отдельные расчеты узлов)
Визуализация потоков информации (DFD)	Да (структурный анализ)	Нет
Информационная поддержка (БД, цифровые двойники)	Активное использование	Ограниченное (в лучшем случае локальная модель)
Масштабируемость и повторное использование	Высокая (модели подсистем легко комбинировать)	Низкая (модели «заточены» под конкретный режим)
Возможность адаптации (реальное время)	Предусмотрена (данные с датчиков, автоматическая калибровка) [12]	Чаще статическая (параметры фиксируются постфактум)

Заключение

В работе сформулирована методика создания информационной модели производства этилена, основанная на DFD-анализе и системной декомпозиции. Предложенный подход объединяет построение структурированных DFD, математических моделей процессов и ИТ-реализацию (SCADA, базы данных). Это обеспечивает гибкое и интегрированное представление производства, улучшает точность прогнозов и позволяет оперативно реагировать на изменения технологических условий. При сравнении с традиционными методами моделирования системный информационный подход показал лучшие показатели выхода продукта и энергоэффективности (условно) и более высокий уровень автоматизации. Внедрение таких моделей имеет важное прикладное значение: цифровые двойники установок этилена позволяют нефтехимическим предприятиям «догнать» мировые бенчмарки по эффективности без масштабной реконструкции оборудования [12].

Список литературы

1. Саввин С.С., Кайнс А.Б., Седов А.И. Системный анализ линии производства этилена // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2018. №10. С. 38–44.
2. Саввин С.С. Системный анализ и моделирование технологического процесса производства этилена: дис. ... канд. техн. наук. Томск: ТПУ, 2016. 200 с.
3. Ташбаев Х.М., Мадиев Р.М., Нуруллаев Ш.П. Усовершенствование получения этиленового мономера методом пиролиза // Universum: технические науки. 2021. №10(91). С. 68–75.

4. ГОСТ Р 57700.19-2019. Численное моделирование динамических рабочих процессов в социотехнических системах. Технические требования к архитектуре процессов. М.: Стандартинформ, 2019.
5. Борисенко, В. Б. Как испытать то, чего не существует (о цифровом моделировании в нефтепереработке) / В. Б. Борисенко // Энергии+ : [сайт]. – 2025. – 18 дек. – URL: <https://e-plus.media/people/kak-ispytat-to-chego-ne-sushhestvuet/>.
6. Kaiten. Диаграмма потоков данных (DFD) для чайников: что это такое, как сделать и какой бывает // Хабр. 04.07.2025.
7. Сибур внедряет уникальную технологию цифрового моделирования газохимических реакций // Офиц. сайт СИБУР. 2025. URL: <https://www.sibur.ru> (дата обращения: 10.02.2026).
8. Эксперты Сибура о цифровой модели полимеризации этилена // Globus: новости нефтехимии. 20.11.2020.
9. Kidnay A.D., Parrish W.R., McCartney D. Fundamentals of Natural Gas Processing / пер. с англ. под ред. О.П. Лыкова, И.А. Голубевой. СПб.: ЦОП «Профессия», 2014.
10. Косивцов Ю.Ю., Сульман Э.М. Технология пиролиза органических материалов. Тверь: ТГТУ, 2010. 124 с.
11. Александров Ю.А., Шекунова В.М. и др. Получение этилена пиролизом пропан-бутановой смеси без коксообразования // Нефтепереработка и нефтехимия. 2000. №18. С. 30–32.
12. Zyfra. Цифровые двойники нефтегазового месторождения и актива: чего они могут дать отрасли и что нужно, чтобы их создать // Habr.com. 28.06.2022. – URL: <https://www.zyfra.com/ru/news/media/tsifrovye-dvoyniki-neftegazovogo-mestorozhdeniia-i-aktiva-chto-oni-mogut-dat-otrasli-i-chto-nuzhno-chtoby-ikh-sozdat/>.
13. Акименко А.В., Аникеев Е.А., Воронин В.В. Методика и алгоритм расчета и подбора насосных агрегатов для хранилищ жидких продуктов // Моделирование систем и процессов. 2022. Т. 15. № 1. С. 7–13. DOI: 10.12737/2219-0767-2022-15-1-7-13.

References

1. Savvin, S. S., Kains, A. B., & Sedov, A. I. (2018). System analysis of the ethylene production line. KIP i Avtomatika: Obsluzhivanie i Remont, (10), 38–44.
2. Savvin, S. S. (2016). System analysis and modeling of the ethylene production process (Candidate of Technical Sciences dissertation). Tomsk Polytechnic University, Tomsk.

3. Tashbaev, Kh. M., Madiev, R. M., & Nurullaev, Sh. P. (2021). Improvement of ethylene monomer production by pyrolysis. *Universum: Tekhnicheskie Nauki*, 10(91), 68–75.
4. GOST R 57700.19–2019. (2019). Numerical modeling of dynamic working processes in socio-technical systems. Technical requirements for process architecture. Moscow: Standartinform.
5. Borisenko, V. B. How to experience something that does not exist (on digital modeling in oil refining) / V. B. Borisenko // *Energy+ : [website]*. – 2025. – December 18. – URL: <https://e-plus.media/people/kak-ispytat-to-chego-ne-sushhestvuet/>.
6. Kaiten. (2025, July 4). Data flow diagrams (DFD) for beginners: what they are, how to create them, and their types. *Habr*.
7. SIBUR. (2025). SIBUR implements a unique technology for digital modeling of gas-chemical reactions. Official website. Retrieved February 10, 2026, from <https://www.sibur.ru>.
8. Experts of SIBUR on the digital model of ethylene polymerization. (2020, November 20). *Globuc: Novosti Neftekhimii*.
9. Kidnay, A. D., Parrish, W. R., & McCartney, D. (2014). Fundamentals of natural gas processing (O. P. Lykov & I. A. Golubeva, Eds., Russian translation). St. Petersburg: TsOP Professiya.
10. Kosivtsov, Yu. Yu., & Sulman, E. M. (2010). Technology of pyrolysis of organic materials. Tver: Tver State Technical University.
11. Aleksandrov, Yu. A., Shekunova, V. M., et al. (2000). Production of ethylene by pyrolysis of propane-butane mixture without coke formation. *Neftepererabotka i Neftekhimiya*, (18), 30–32.
12. Zyfra. (2022, June 28). Digital twins of oil and gas fields and assets: benefits for the industry and requirements for their creation // *Habr.com*. – URL: <https://www.zyfra.com/ru/news/media/tsifrovye-dvoyniki-neftegazovogo-mestorozhdeniia-i-aktiva-cto-oni-mogut-dat-otrasli-i-cto-nuzhno-ctoby-ikh-sozdat/>.
13. Akimenko, A. V., Anikeev, E. A., & Voronin, V. V. (2022). Methodology and algorithm for calculation and selection of pumping units for liquid product storage facilities. *Modelirovanie Sistem i Protsessov*, 15(1), 7–13. <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2022-15-1-7-13>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ОТДЕЛ КАДРОВ»

С.Д. Сербин¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, В.Ф. Асминин¹, Н.В. Акамсина³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Показано, что программное обеспечение «Автоматизированное рабочее место «Отдел кадров» предназначено для учета кадров банковских учреждений, ведения учета штатных расписаний, ведения учета структурных подразделений банковских учреждений, приема из базы данных сети банковских учреждений реквизитов подразделений, построения финансово-экономической, кадровой и вспомогательной отчетности. Проведенное исследование необходимо для последующей разработки программного продукта, который будет способствовать экономии финансовых ресурсов за счет уменьшения трудоемкости учета персонала банка.

Ключевые слова: информационная система, автоматизированное рабочее место, отдел кадров, учет кадров банковских учреждений, реквизиты подразделений, отчетность, программный продукт.

SOFTWARE RESEARCH "AUTOMATED WORKPLACE HR DEPARTMENT"

S.D. Serbin¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, V.F. Asminin¹, N.V. Akamsina³

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

³Voronezh State Technical University

Abstract. It is shown that the software "Automated workplace "Personnel Department" is intended for accounting of personnel of banking institutions, accounting of staffing tables, accounting of structural divisions of banking institutions, receiving details of divisions from the database of the network of banking institutions, building financial, economic, personnel and auxiliary reporting.

The conducted research is necessary for the subsequent development of a software product that will help save financial resources by reducing the labor intensity of accounting for bank personnel.

Keywords: information system, automated workplace, personnel department, personnel accounting of banking institutions, details of departments, reporting, software product.

Введение

Работники кадровых служб осознают стратегическое значение данных, которые могут предоставить информационные системы, и если для них очевидно, что информационная система создает предпосылки для получения осязаемого, реального финансового дохода, значит, коэффициент окупаемости инвестиций может применяться и в отношении системы управления персоналом.

Основным назначением программного комплекса "Отдел кадров" является автоматизация ряда функций, выполняемых работниками отдела кадров, а именно:

- ввод, контроль, поиск и выдача в экранной или печатной форме информации по кадровому составу предприятия;

- ввод, расчет, печать штатного расписания (ШР), выдача справочной информации по штатному составу, по текущему состоянию ШР, по структуре штатного состава и движению кадров. При этом осуществляется автоматическая корректировка штатного расписания при движении работников, формирование полных и временных вакансий; формирование и печать приказов по отделу кадров и по канцелярии в различной форме (в текстовой или в виде унифицированных форм).

Диаграмма взаимодействия основных составных частей программного обеспечения АРМ «Кадры» изображена на рисунке 1.

Использование программного комплекса позволяет:

1. сократить время поиска информации по работникам;
2. сократить время на получение справок, отчетов;
3. сократить время на расчет ШР, проведение индексации заработной платы;
4. сократить время на подготовку и печать приказов по предприятию;
5. повысить достоверность требуемой информации.

Программное обеспечение «Автоматизированное рабочее место "Отдел кадров"» предназначено для учета кадров банковских учреждений, ведения учета штатных расписаний, ведения учета структурных подразделений банковских учреждений, приема из базы данных сети банковских учреждений рекви-

тов подразделений, построения финансово-экономической, кадровой и вспомогательной отчетности.

Составными частями подсистемы «АРМ "Отдел кадров"» являются:

- структурные подразделения банковских организаций;
- должности;
- штатные расписания;
- сотрудники;
- приказы;
- отчеты.

Диаграмма взаимодействия основных составных частей программного обеспечения АРМ «Кадры» изображена на рисунке 1.

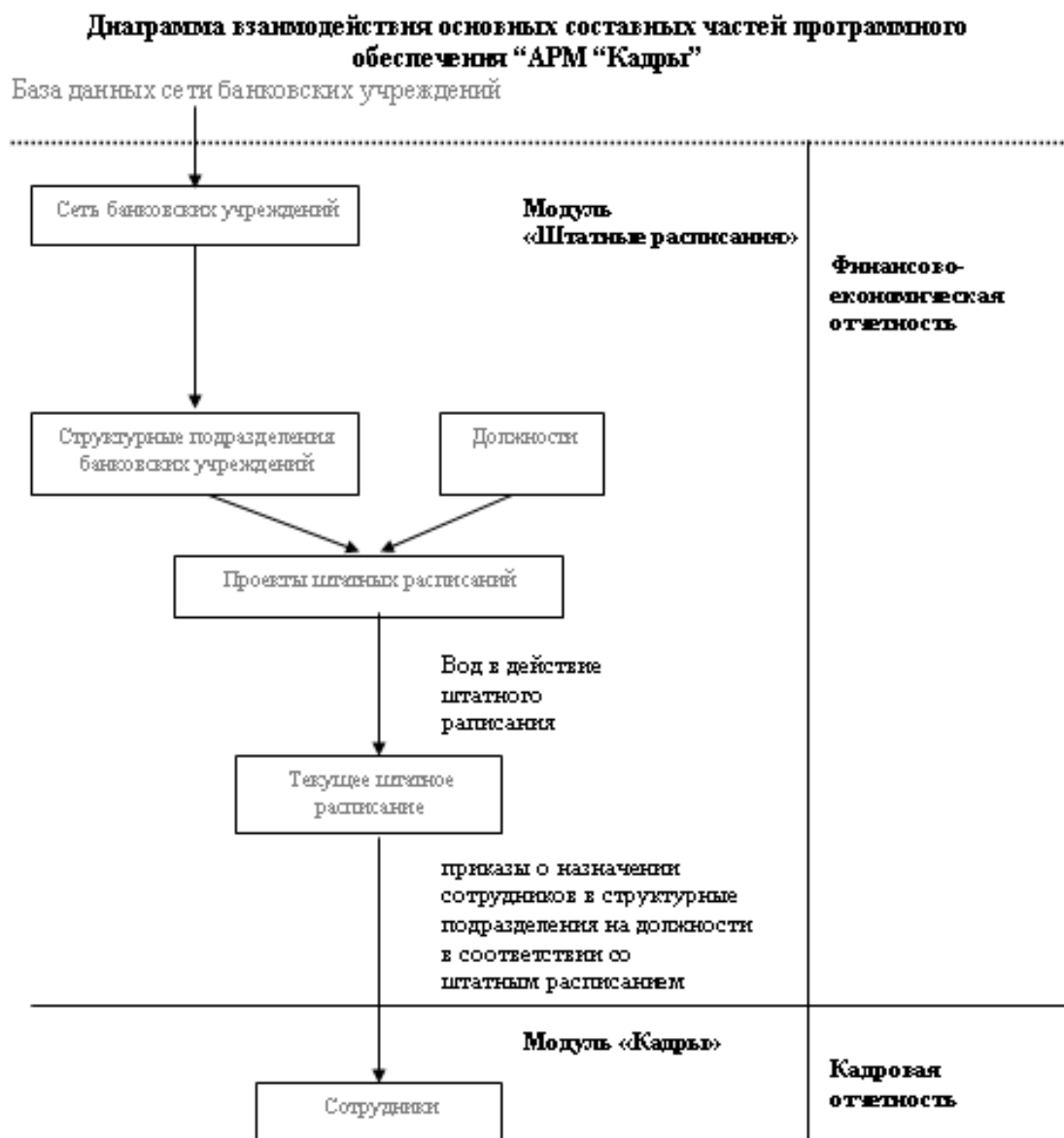


Рисунок 1 – Диаграмма взаимодействия основных составных частей программного обеспечения АРМ «Кадры»

Система «Отдел кадров» должна иметь возможность сбора и консолидации первичной информации по подразделениям, построения отчетов, которая позволит получать финансово-экономическую, кадровую и вспомогательную отчетность в целом по банку.

Наличие поисковой системы, которая дает возможность автоматизированного поиска банковских организаций, структурных подразделений, приказов и личных дел по учету кадров по набору критериев.

Информация о сети подразделений банка в подсистему "АРМ "Отдел кадров" предоставляется программным обеспечением банка на уровне правления. Реквизитом, на основе которого производится прием данных о банковском подразделении в "АРМ "Отдел кадров", служит государственный регистрационный код банковского учреждения.

Взаимодействие правления банка с филиалами банка выполняется путем ведения общепанковских справочников на уровне правления банка с дальнейшей рассылкой в филиалы. В филиалах банка на основе полученных общепанковских справочников формируется первичная информация о штатных расписаниях и кадровый учет. Сформированная информация передается в правление банка.

Заключение

Программный продукт, создание которого будет целью последующей работы, будет способствовать экономии финансовых ресурсов за счет уменьшения трудоемкости учета персонала банка.

При написании статьи использовались материалы исследований [1-13].

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.

2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.

3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова,

А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. - EDN: GBWORY.

4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. - EDN: QSOCOS.

5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.

8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.

9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2025. – С. 94-99.

10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.

11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.

12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFHX.

13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.
2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.
3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.
4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.
5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.
6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.
7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.
8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication net-

works // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.

10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.

11. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.

12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

**ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ
РАБОЧЕЕ МЕСТО СОТРУДНИКА ОТДЕЛА КАДРОВ БАНКА»**

С.Д. Сербин¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, В.Ф. Асминин¹, В.А. Горюнов²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

Аннотация. Приведена краткая характеристика ОАО «Белгородпромстройбанк», который долгие годы успешно работает на финансовом рынке и является информационно-открытой, универсальной финансово-кредитной организацией. Программный продукт, создание которого будет целью последующей работы, будет способствовать экономии финансовых ресурсов за счет уменьшения трудоемкости учета персонала банка.

Ключевые слова: информационная система, объект исследования, автоматизированное рабочее место, отдел кадров, программный продукт.

**CHARACTERISTICS OF THE RESEARCH OBJECT
FOR THE DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SYSTEM
"AUTOMATED WORKPLACE OF AN EMPLOYEE
OF THE HUMAN RESOURCES DEPARTMENT OF THE BANK"**

S.D. Serbin¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, V.F. Asminin¹, V.A. Goriunov²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

Abstract. A brief description is given of JSC Belgorodpromstroybank, which has been successfully operating in the financial market for many years and is an information-open, universal financial and credit organization. The software product, the creation of which will be the goal of subsequent work, will help save financial resources by reducing the complexity of accounting for bank personnel.

Keywords: information system, object of research, automated workplace, human resources department, software product.

Введение

Мы живем в то время, когда резко меняются представления о задачах управления людскими ресурсами. Отныне кадровые службы стремятся избавиться от вековой репутации надзирателя за работниками и стать наряду с другими отделами компании полноправным стратегическим партнером, приносящего твердую прибыль.

Коренные изменения коснулись и практики кадровых служб: они начинают по-новому планировать свою деятельность и в своих инициативах делают упор на использование информационных технологий.

Надо признать, что в отделах кадров всегда понимали значимость технологий, особенно, это касается крупных организаций, где необходимо учитывать и обрабатывать огромные объемы информации.

Дело в том, что именно с помощью СУП, они могут наглядно показать, что отдел управления человеческими ресурсами может гораздо больше, чем просто разбирать резюме, обрабатывать заявки на начисление пенсий или заполнять картотеку. Для того, чтобы компания могла идти вперед, оставаясь конкурентоспособной, просто невозможно не иметь полностью функциональную СУП. Информация о функционировании компании является важнейшим показателем ее конкурентоспособности, а информация о служащих не менее важна, ни одна компания сегодня не может эффективно собирать и анализировать такую информации без полностью функциональной СУП. Окупаемость инвестиций в данном случае определить довольно трудно, но, тем не менее, она весьма реальна. Еще один довод в пользу СУП состоит в том, что она формирует условия для создания технической архитектуры, которая принесет материально измеримый доход по инвестициям в виде повышения производительности труда и сокращения расходов в самом отделе кадров. Эта техническая архитектура обычно известна как автоматизированные рабочие места (АРМ) служащих или менеджеров (employee, manager self-service).

Сегодня всё чаще компании смотрят на своих работников как на капитал. Умело управлять им – значит обеспечивать финансовый успех. И задача кадрового отдела теперь не менее важна, чем цели отдела продаж или разработки. Нужно выжимать максимум эффективности из каждого сотрудника. Чтобы превратить человеческие ресурсы в настоящий капитал, высокоэффективная рабочая система должна уметь три вещи.

Во-первых, отбирать специалистов и продвигать их по карьерной лестнице так, чтобы это соответствовало требованиям к компетенциям.

Во-вторых, разрабатывать стратегию – как своевременно и эффективно поддерживать профессиональный уровень персонала, чтобы компания могла решать свои задачи.

В-третьих, выстроить практику управления и стимулирования сотрудников так, чтобы привлекать, удерживать и мотивировать людей.

В последние годы резко вырос интерес к системам и приложениям, которые раньше считали чем-то вроде «излишества». Изначально индивидуальные АРМы (employee self-service) могли позволить себе только крупные компании. А функции АРМа менеджера часто сводились к простому просмотру списка работников – никаких решений, которые бы реально упрощали управление персоналом.

Сейчас АРМы начинают занимать своё достойное место. Будь то интерфейсные приложения, программы от сторонних разработчиков или продукты, полностью интегрированные с системами планирования ресурсов предприятия (ERP).

Понятно, что внедрение таких решений потребует денег и времени, и без сложностей не обойдётся. Но ожидается, что расчёт окупаемости инвестиций перестанет быть «дедовской арифметикой». По отчёту Hunter Group, двум третям компаний, которые собираются устанавливать АРМы, нужно сначала сформулировать бизнес-стратегию – а она определит, какую отдачу от вложений ждать. Существующие методики уже позволяют делать достаточно обоснованные оценки реальных поступлений от внедрения. Кадровые службы смогут предложить такую бизнес-стратегию, которая понравится даже главному финансовому директору.

Остаётся добавить: когда такие системы станут доступны, можно ждать роста эффективности и у рядовых сотрудников, и у менеджеров. Но реальную пользу АРМы принесут только при одном условии – если все необходимые данные они будут брать из полностью функциональных систем управления персоналом (СУП).

Краткая характеристика ОАО «Белгородпромстройбанк»

Объектом исследования является ОАО «Белгородпромстройбанк».

Долгие годы банк успешно работает на финансовом рынке и является информационно-открытой, универсальной финансово-кредитной организацией. На

протяжении всего времени банк стремится к максимальному удовлетворению потребностей клиентов на основе профессионального, быстрого и качественного обслуживания.

Сознавая важность поддержки отечественного предпринимательства, в работе с корпоративными клиентами банк специализируется, главным образом, на обслуживании малого и среднего бизнеса, способствуя эффективному и цивилизованному его развитию в регионе. Немалое значение имеет и сотрудничество с частными лицами. При выборе стратегии своего дальнейшего развития, банк стремится максимально учесть интересы своих клиентов.

Сведения об аудиторской компании

Аудитором ОАО "Белгородпромстройбанк" является ООО "ФЕДБЕЛ". ООО "ФЕДБЕЛ" имеет лицензию на осуществление аудиторской деятельности в области аудита кредитных организаций № Е 003734 от 04.03.2003г., выданную Министерством Финансов Российской Федерации действительную до 04.03.2008г.

Надзор за деятельностью ОАО "Белгородпромстройбанк" осуществляет Главное управление по Белгородской области Центрального Банка России.

"1С:Предприятие 8.0. Управление персоналом"

Для решения задачи практической реализации информационной системы "Автоматизированное рабочее место сотрудника отдела кадров банка" могут быть использованы инструментальные средства "1С:Предприятие 8.0. Управление персоналом".

Схема конфигурации "1С:Предприятие 8.0. Управление персоналом" изображена на рис. 1.

Продукт "1С:Предприятие 8.0. Управление персоналом" распространяется через партнеров - франчайзи.

Для использования программных продуктов системы "1С:Предприятие 8.0" в варианте "клиент-сервер" необходимо также приобретать дополнительную лицензию на использование сервера "1С:Предприятия" независимо от количества приобретенных лицензий на дополнительные рабочие места. В комплект поставки лицензии на использование сервера 1С:Предприятия входит Лицензионное соглашение, ключ защиты (USB) и книга "1С:Предприятие 8.0 клиент-сервер".



Рисунок 1 – Схема конфигурации "1С:Предприятие 8.0. Управление персоналом"

Заключение

С целью экономии средств на приобретение существующих многофункциональных дорогостоящих программных продуктов, многие небольшие фирмы предпочитают создание собственных узкоспециализированных не больших программных продуктов для решения требуемых задач.

Проведенное исследование необходимо для последующей разработки программного продукта, который будет способствовать экономии финансовых ресурсов за счет уменьшения трудоемкости учета персонала банка.

При написании статьи использовались материалы исследований [1 - 13].

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.
2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.
3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова,

А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. - EDN: GBWORY.

4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. - EDN: QSOCOS.

5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.

8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.

9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2025. – С. 94-99.

10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.

11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.

12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFHX.

13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.
2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.
3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.
4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.
5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.
6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.
7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.
8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication net-

works // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.

10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.

11. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.

12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

ОБЗОР СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ SECRET NET STUDIO: АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

А.А. Ситников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье проводится комплексный анализ системы защиты информации Secret Net Studio, выделяются ее ключевые особенности и архитектурные принципы.

Ключевые слова: Secret Net Studio, защита информации, СЗИ, контроль доступа, шифрование, ФСТЭК, мандатное управление доступом, анализ защищенности.

OVERVIEW OF THE SECRET NET STUDIO INFORMATION PROTECTION SYSTEM: ARCHITECTURE AND FUNCTIONAL FEATURES

A.A. Sitnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article conducts a comprehensive analysis of the information protection system Secret Net Studio, highlighting its key features and architectural principles.

Keywords: Secret Net Studio, information protection, information security subsystem (ISS), access control, encryption, FSTEC, mandatory access control, security analysis.

Введение

Информационная среда постоянно усложняется. Киберугрозы становятся масштабнее. Они также становятся разнообразнее. Это повышает требования к защите данных.

Secret Net Studio базируется на централизованной клиент-серверной архитектуре. Данный подход обеспечивает единое управление политиками безопасности. Он также позволяет масштабировать систему. Агенты (клиентские модули) развертываются на защищаемых узлах. Они выполняют локальное применение политик. Сервер управления осуществляет централизованный контроль.

Он хранит базу данных политик и событий. Взаимодействие компонентов происходит по защищенным каналам связи.

Центральные компоненты управления:

- **Сервер управления.** Является ядром системы. На нем функционируют службы управления, база данных (обычно PostgreSQL) и консоль администрирования. Сервер агрегирует события от агентов. Он хранит актуальные конфигурации и политики безопасности. Через него осуществляется развертывание обновлений.
- **Консоль администрирования.** Предоставляет веб-интерфейс для управления всей системой. Администратор может создавать политики, формировать отчеты, анализировать инциденты. Консоль обеспечивает ролевое разделение прав доступа для персонала.

Анализ модульно архитектуры

Система является модульной. Состав развертываемых агентов зависит от задачи. Каждый модуль выполняет специфическую функцию защиты.

- **Secret Net Laptop/Desktop.** Базовый агент для рабочих станций и ноутбуков. Реализует мандатный контроль доступа (МКД) на основе меток конфиденциальности. Осуществляет полное или выборочное шифрование дисков. Контролирует использование внешних устройств (USB, DVD). Обеспечивает целостность программной среды.
- **Secret Net Server.** Агент для защиты серверов. Фокусируется на контроле доступа к файловым ресурсам и службам. Обеспечивает аудит административных действий. Защищает от несанкционированных изменений конфигурации.
- **Secret Net Terminal.** Специализированный модуль для терминальных серверов и сред VDI. Обеспечивает изоляцию сессий разных пользователей. Контролирует передачу данных между сессией и локальным устройством пользователя.
- **Secret Net DLP (ПДн).** Модуль предотвращения утечек информации. Мониторит каналы передачи данных (сеть, почта, съемные носители). Использует сигнатурный и контентный анализ для блокировки передачи конфиденциальных сведений. Ключевой компонент для соблюдения 152-ФЗ.
- **Secret Net ICS/SCADA.** Адаптирован для защиты автоматизированных систем управления технологическими процессами. Имеет облегченный

набор политик. Минимизирует влияние на работу реального времени. Контролирует подключение внешних устройств к АРМ операторов.

- Secret Net Auditor. Средство анализа защищенности и сбора аудита. Сканирует узлы на соответствие политикам. Выявляет уязвимости и несоответствия. Собирает и коррелирует события безопасности с других агентов. Формирует детальную картину инцидентов.

- Secret Net PAM (Privileged Access Management). Модуль управления привилегированными доступами. Контролирует учетные записи администраторов. Обеспечивает принцип наименьших привилегий. Записывает сессии администраторов для последующего аудита.

Ключевые механизмы защиты

Агенты опрашивают сервер управления для получения актуальных политик. Локальное кэширование политик обеспечивает работоспособность при разрыве связи с сервером. Все события безопасности (попытки нарушения доступа, срабатывания DLP) отправляются на сервер. Это создает централизованное хранилище журналов. Архитектура поддерживает распределенную установку. Возможно наличие нескольких серверов управления в географически распределенных филиалах. При этом обеспечивается синхронизация данных между серверами. Такая схема повышает отказоустойчивость всей системы защиты.

Механизмы защиты Secret Net Studio

Основу защитного функционала составляет мандатный контроль доступа, реализованный на основе меток конфиденциальности. Все операции чтения и записи регулируются принудительно, что предотвращает утечки информации и обеспечивает изоляцию данных.

Криптографическая защита реализована несколькими способами: полное шифрование дисков, создание виртуальных криптодисков, а также прозрачное шифрование отдельных каталогов. Система поддерживает аппаратные токены.

Детальный контроль устройств выполняется с помощью политик, регулирующих работу USB-накопителей. Управление основано на типах устройств, допускается создание «белых списков». Контролируются также беспроводные интерфейсы.

Аудит безопасности централизован: события собираются со всех агентов, а механизмы корреляции позволяют выявлять сложные атаки. Система формирует отчёты, пригодные для представления проверяющим органам.

Модуль DLP предотвращает утечки, анализируя содержание передаваемых данных. Контролируются как сетевые каналы, так и съёмные носители; нарушение политик влечёт оповещение или блокировку.

Управление целостностью ограничивает запуск программного обеспечения: проверяются хэши и цифровые подписи приложений, что защищает от исполнения неавторизованного кода. Все перечисленные механизмы работают совместно, образуя единую систему защиты.

Соответствие регуляторным нормам

Secret Net Studio разрабатывается с учётом российской нормативной базы. Система обладает набором сертификатов и заключений, подтверждающих её соответствие ключевым требованиям.

Платформа сертифицирована по нескольким приказам ФСТЭК России. Основное внимание уделяется приказу № 17, касающемуся защиты информации в государственных информационных системах (ГИС). Secret Net Studio соответствует 1-му и 2-му классам защищённости ГИС. Система также отвечает требованиям приказа № 21 о защите персональных данных, обеспечивая уровни защищённости (УЗ) ПДн от УЗ1 до УЗ4. Для объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ) актуален приказ № 31; архитектура и функциональные возможности Secret Net Studio позволяют выполнять его предписания в части контроля доступа, регистрации событий и управления безопасностью.

В системе используются сертифицированные средства криптографической защиты информации (СКЗИ), соответствующие требованиям ФСБ, что даёт возможность применять шифрование для защиты сведений, составляющих государственную тайну. Платформа совместима с аппаратными СКЗИ, имеющими необходимые сертификаты.

В функционале реализованы следующие конкретные требования:

- **Идентификация и аутентификация.** Система поддерживает строгую многофакторную аутентификацию с использованием паролей, аппаратных токенов и биометрических данных.
- **Управление доступом.** Мандатный контроль доступа (МКД) выступает ключевым механизмом, напрямую реализуя принцип принудительного разграничения доступа, требуемый регуляторами.
- **Регистрация и учёт.** Все события безопасности фиксируются в защищённом журнале аудита, при этом события невозможно изменить или удалить без оставления следа.

- **Целостность.** Контроль целостности системных файлов и программного обеспечения предотвращает несанкционированные изменения; механизмы гарантируют неизменность среды исполнения.

- **Защита от вредоносного кода.** Интеграция с антивирусными средствами позволяет выполнить данное требование; Secret Net Studio управляет политиками антивирусной защиты.

Secret Net Studio часто выступает базовым элементом, на основе которого строятся аттестованные автоматизированные рабочие места (АРМ). Система совместима с отечественными операционными системами – необходимым условием для защиты сведений, составляющих государственную тайну. Совместимость с ОС Astra Linux, «Альт» и другими подтверждена практикой.

Архитектура и функциональность Secret Net Studio изначально ориентированы на регуляторные требования. Наличие сертификатов ФСТЭК и ФСБ формально подтверждает это. Система предоставляет инструменты для выполнения конкретных предписаний приказов и является типовым решением для построения защищённых информационных систем в государственном секторе и на объектах КИИ.

Заключение

регуляторным требованиям. Она сертифицирована ФСТЭК для использования в ГИС и при обработке персональных данных. Поддержка отечественных операционных систем и средств криптографической защиты делает её предсказуемым выбором для государственного сектора и объектов КИИ.

Таким образом, Secret Net Studio представляет собой зрелое решение, эффективно решающее задачи построения защищённых информационных систем в регулируемой среде.

Список литературы

1. Д.Б. Жмуров, С.В. Жуков Программно-аппаратные средства защиты информации / Д.Б. Жмуров, С.В. Жуков. – Самара: издательство иамарского университета / 2022. – 20-52с.

2. ООО «Код Безопасности» Secret Net Studio Руководство администратора. / ООО «Код Безопасности» / 2025. – 13-34с.

3. Степанов С. С. Сравнение средств защиты информации Страж Nt 4.0 И Secret Net Studio / Степанов С. С. // Журнал «NBI-technologies» /2022. – 15-18с.

References

1. D.B. Zhmurov, S.V. Zhukov Software-hardware means of information protection / D.B. Zhmurov, S.V. Zhukov. – Samara: Publishing house of Samara University / 2022. –. 20-52.
2. LLC "Security Code" Secret Net Studio Administrator's Guide. / LLC "Security Code" / 2025. – 13-34.
3. Stepanov S. S. Comparison of information protection tools Strazh Nt 4.0 And Secret Net Studio / Stepanov S. S. // Journal "NBI-technologies" / 2022. – 15-18.

ОБЗОР СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА «БЛОКХОСТ-СЕТЬ 3»

А.А. Ситников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается средство защиты от несанкционированного доступа, используемое в государственных структурах «Блокхост-Сеть 3», приведены его характеристики, плюсы, минусы, предложены российские и иностранные аналоги.

Ключевые слова: информационная безопасность, информационная система, безопасность, доступ, государственные информационные системы.

CONSIDERATION OF A MEANS OF PROTECTING INFORMATION FROM UNAUTHORIZED ACCESS "BLOKHOST NETWORK 3"

A.A. Sitnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the means of protection against unauthorized access used in government structures "Blokhost network 3", its characteristics, pros, cons are given, Russian and foreign analogues are proposed.

Keywords: information security, information system, security, access, government information systems.

Введение

Цифровая трансформация инфраструктуры идёт полным ходом. Регуляторы ужесточают требования. Защита ресурсов от несанкционированного доступа (НСД) становится не просто важной, а критически необходимой. Особенно это касается государственных информационных систем (ГИС) и объектов критической информационной инфраструктуры (КИИ). Утечка или подмена данных там может привести к очень серьёзным последствиям.

Контроль доступа должен быть не в один слой, а в несколько. Важен не только уровень приложений, но и сетевой. Он служит базой для всей безопасности. Его задача – не дать злоумышленнику, который уже проник внутрь, свободно перемещаться по периметру. Ключевую роль здесь играют средства защиты информации (СЗИ), работающие как межсетевые экраны и шлюзы безопасности.

В этом обзоре рассмотрим средство защиты «Блокхост-Сеть 3». Это сертифицированное СЗИ от НСД от российской компании «Газинформсервис». Позиционируется как универсальный защитный шлюз. Наша цель – провести комплексный анализ: изучить характеристики, архитектуру, плюсы и минусы. Анализ делаем с учётом современных киберугроз. Также сравним с отечественными и зарубежными аналогами. Результаты помогут понять, какое место это СЗИ занимает в комплексных системах защиты [1].

Обзор системы «Блокхост-Сеть 3»

«Блокхост-Сеть 3» – это аппаратно-программный комплекс. Его главная задача – контролировать сетевой трафик между сегментами с разным уровнем доверия. Система позиционируется как универсальный шлюз безопасности, который объединяет в одной платформе несколько защитных механизмов.

Что она умеет решать?

- Защищать от несанкционированного доступа (НСД) на этапе загрузки ОС и во время её работы.
- Мешать красть конфиденциальную информацию ради коммерческой выгоды.
- Обеспечивать нужный уровень безопасности по законам и внутренним актам организации – чтобы потом аттестовать автоматизированные рабочие места.
- Выполнять требования приказов ФСТЭК России:
 - № 17 – для ГИС;
 - № 21 – для ИСПДн;
 - № 31 – для АСУ ТП;
 - № 239 – для КИИ.
- Защищать от НСД в системах, где нет гостайны, но информация всё равно важна.

У «Блокхост-Сеть 3» есть сертификат ФСТЭК России № 4267 от 14 октября 2020 года. Он подтверждает, что СЗИ соответствует:

- 3 классу защищённости по старому документу Гостехкомиссии (1992);
- 4 уровню доверия по приказу ФСТЭК № 131 от 30.07.2018 [2].

Функций у комплекса много. Перечислю основные:

- Централизованная установка клиентских частей СЗИ на рабочие станции.

Такая же установка софта сторонних разработчиков.

- Централизованный сбор аудита со всех станций и подчинённых серверов – вплоть до головного.

- Передача событий аудита с головного сервера в SIEM-систему.

- Централизованное управление политиками безопасности.

- Идентификация и аутентификация администраторов и пользователей (пароли, токены, сертификаты).

- Дискреционный и мандатный контроль доступа.

- Контроль целостности файловой системы и программно-аппаратной среды.

- Очистка памяти и гарантированное удаление данных.

- Контроль печати, маркировка документов.

- Защита ввода/вывода на съёмные носители.

- Контроль запуска процессов, управление идентификаторами входа.

- Временное ограничение доступа к рабочей станции.

- Взаимная аутентификация клиент-сервер при сетевых соединениях.

- Сетевое мандатное разграничение.

Преимущества

Глубокая интеграция с SIEM. Комплекс собирает события безопасности со всей иерархии – от агентов до головного сервера – и отправляет их в SIEM. Это помогает выявлять сложные многошаговые атаки и повышает эффективность мониторинга в распределённых сетях.

Упрощённое развёртывание. Встроенный механизм централизованной установки снижает трудозатраты на первичное внедрение. Можно дистанционно разворачивать дополнительные компоненты, включая софт сторонних вендоров.

Нормативное соответствие. Сертификат ФСТЭК подтверждает, что система соответствует требованиям к СЗИ от НСД, включая 3-й уровень доверия.

Это снимает нормативные барьеры для использования в ГИС и КИИ высоких классов защищённости.

Централизованное управление политиками. Администратор через единую иерархическую консоль задаёт политики, и они применяются ко всем рабочим станциям в распределённой сети. Единый режим безопасности поддерживать проще.

Масштабируемая иерархическая архитектура. Платформа позволяет строить многоуровневые структуры управления с глубокими иерархиями главных и подчинённых серверов. Управлять можно на любом уровне. Это даёт гибкость для крупных холдингов или территориально распределённых организаций.

Недостатки

Высокая ресурсоёмкость. Полнофункциональное развёртывание требует сертифицированных серверов, а это большие начальные вложения. Для средних и небольших организаций совокупная стоимость владения может оказаться слишком высокой.

Зависимость от импортных компонентов. Аппаратная платформа исторически на x86, и многие критические детали – иностранные. В условиях санкций это риск. Долгосрочная поддержка становится проблемой.

Сложная тонкая настройка. Расширенная функциональность требует от администратора высокой квалификации. Настроить IDS/IPS и контентную фильтрацию непросто. При неоптимальной конфигурации возможны ложные срабатывания или пропуск реальных инцидентов.

Ограниченная поддержка облачных сред. Архитектура заточена под классические периметры. С гибридными и облачными инфраструктурами (IaC, контейнерами) интеграция слабая. Для современных динамичных IT-ландшафтов это сужает возможности применения.

Относительная закрытость экосистемы. У системы свои ОС и форматы политик. Глубоко интегрироваться со сторонними инструментами автоматизации (Ansible, Terraform) трудно. В рамках DevOps-практик это может замедлять процессы.

Аналоги

ViPNet («Инфотекс») – прямой конкурент, тоже аппаратно-программный комплекс, выполняет функции межсетевого экрана и VPN-шлюза. Главное отличие: упор на защищённые виртуальные сети, идеология «виртуального канала»

между доверенными узлами. Архитектура изначально под распределённые системы.

UserGate («Эшелон») – NGFW с развитой контентной фильтрацией, встроенной системой категоризации веб-ресурсов, контролем приложений и полосы пропускания. Часто используется как шлюз для контроля интернет-доступа.

АЙРИС NGFW («РДП.РУ») – отечественный NGFW на собственной микроядерной ОС. Акцент на высокой производительности и малых задержках. Сертифицирован для КИИ, подходит для сетей операторов связи и крупных ЦОДов.

Stavshchit («Гарда Технологии») – шлюз безопасности с глубокой программно-аппаратной оптимизацией. Хорошо реализует функции IPS и антивирусной проверки. Часто применяется в высоконагруженных сегментах.

«Блокхост-Сеть 3» среди них занимает нишу универсального защитного шлюза. Отличается глубокой иерархией управления и акцентом на аудит. Решение больше заточено под формальные требования регуляторов и оптимально для классических иерархических структур в госсекторе.

Сравнение с зарубежными аналогами

На западном рынке есть зрелые, массовые решения. Сравнение с ними помогает понять конкурентный контекст.

Palo Alto Networks PA-Series – отраслевой эталон NGFW. Однопроходная архитектура даёт высокую производительность. Плюсы: точная идентификация приложений (независимо от портов), развитая интеграция с системами защиты конечных точек.

Fortinet FortiGate – глубокая интеграция всех компонентов безопасности. Работает на собственной ОС FortiOS, где брандмауэр, IPS и антивирус используют одну базу сигнатур – это снижает нагрузку. Известен хорошим соотношением цены и производительности.

Cisco Firepower Threat Defense (FTD) – ПО, работающее на железе Cisco или в виртуалке. Сильная сторона – тесная связка с сетевой инфраструктурой Cisco, комплексный подход к безопасности. Но настройка и администрирование считаются сложными.

Check Point Quantum Security Gateway – консолидированная защита с упором на превентивные технологии Threat Prevention. Единая политика для физических, облачных и мобильных сред.

Сравнение с «Блокхост-Сеть 3» показывает концептуальные различия. Зарубежные аналоги обычно превосходят по производительности и функциональности, лучше адаптированы к гибридным и облачным архитектурам, у них более развиты экосистемы и сообщества поддержки. Технологический разрыв постепенно сокращается, но фокус разный: западные платформы нацелены на максимальную эффективность защиты, а наши – на нормативное соответствие и детальный контроль [3].

Заключение

«Блокхост-Сеть 3» соответствует ключевым требованиям к СЗИ от НСД. Архитектура даёт комплексный контроль сетевого трафика, функционал включает классический межсетевой экран, IDS/IPS и контентную фильтрацию. Важный плюс – централизованное иерархическое управление, удобное для крупных распределённых организаций. Основное конкурентное преимущество – нормативное соответствие.

Сертификат ФСТЭК подтверждает отсутствие недеklarированных возможностей (НВД). Поэтому систему предсказуемо выбирают для защиты ГИС и КИИ – риски нарушения законодательства минимальны.

Но есть и серьёзные минусы: высокая стоимость владения, зависимость от железа, сложность настройки (нужны высококвалифицированные кадры), а также ориентация на классические периметровые сценарии. Всё это сужает область применения.

Сравнение с аналогами показывает, что у «Блокхост-Сеть 3» есть своя чёткая ниша. Отечественные конкуренты часто сильнее в отдельных вещах – производительности, контроле приложений, построении VPN. Зарубежные аналоги функционально шире и лучше для современных облачных сред.

Значит, «Блокхост-Сеть 3» – специализированное решение. Его применение оправдано в строго регламентированных секторах: госорганы, операторы КИИ, где главное – формальное соответствие нормативам. Для динамичных коммерческих структур или гибридных инфраструктур он вряд ли будет оптимальным выбором.

Список литературы

1. Андреев Ю. С., Дергачев А. М., Жаров Ф. А., Садырин Д. С. Информационная безопасность автоматизированных систем управления технологическими процессами / Андреев Ю. С., Дергачев А. М., Жаров Ф. А., Садырин Д. С. / Известия высших учебных заведений. Приборостроение – 2019 – 331с.
2. Газинформ сервис СЗИ «Блокхост сеть 3» Руководство администратора безопасности / Газинформ сервис – Санкт-Петербург 2019. – 8с.
3. Ахраниева К. А., Вистунов С. С. Сравнительный анализ рынка экосистем информационной безопасности / Ахраниева К. А., Вистунов // «Экономика и качество систем связи» 3/2024. – 119-120с.

References

1. Andreev Yu. S., Dergachev A.M., Zharov F. A., Sadyrin D. S. Information security of automated process control systems / Andreev Yu. S., Dergachev A.M., Zharov F. A., Sadyrin D. S. / News of higher educational institutions. Instrument Engineering – 2019 – 331с.
2. Gazinform service SZI "Blokhost network 3" Security Administrator's Guide / Gazinform service – Saint Petersburg 2019. – 8с.
3. Akhrameeva K. A., Vistunov S. S. Comparative analysis of the information security ecosystem market / Akhrameeva K. A., Vistunov // "Economics and quality of communication systems" 3/2024. – 119-120s.

ГЕОМЕТРИЯ, ПРОФИЛИ И МЕХАНИЗАЦИЯ КРЫЛА САМОЛЁТА

Е.И. Скворцова¹, А.С. Ягодкин¹, В.К. Зольников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: статья посвящена комплексному анализу крыла самолёта как ключевого несущего элемента, определяющего аэродинамику, лётные характеристики и эксплуатацию. Рассматриваются параметры геометрии (удлинение, сужение, стреловидность, диэдр, крутка), выбор профилей (ламинарные, сверхкритические) и устройства механизации (закрылки, слаты, фowler-механизмы), с акцентом на компромиссы между режимами полёта и современные методы оптимизации. Подчёркивается роль механизации в повышении подъёмной силы на малых скоростях и интеграция с конструктивной схемой для эффективности и безопасности.

Ключевые слова: крыло самолёта, геометрия крыла, удлинение, стреловидность, диэдр, крутка, профиль крыла, механизация крыла, закрылки, слаты, подъёмная сила, аэродинамика.

GEOMETRY, PROFILES AND MECHANIZATION OF THE AIRCRAFT WING

E.I. Skvortsova¹, A.S. Yagodkin¹, V.K. Zolnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: The article is devoted to a comprehensive analysis of the aircraft wing as a key bearing element that determines aerodynamics, flight characteristics and operation. Geometry parameters (elongation, contraction, sweep, dihedral, twist), profile selection (laminar, supercritical) and mechanization devices (flaps, slats, fowler mechanisms) are considered, with an emphasis on compromises between flight modes and modern optimization methods. The role of mechanization in increasing lifting power at low speeds and integration with the design scheme for efficiency and safety is emphasized.

Keywords: aircraft wing, wing geometry, elongation, sweep, dihedral, twist, wing profile, wing mechanization, flaps, slats, lift, aerodynamics.

Крыло самолёта является главным несущим органом летательного аппарата и в значительной степени определяет его аэродинамические, лётно-технические и эксплуатационные характеристики. Через крыло создаётся основная часть подъёмной силы, необходимой для полёта, оно же во многом отвечает за устойчивость, управляемость и топливную экономичность. При проектировании крыла приходится находить компромисс между требованиями к взлётно-посадочным качествам, крейсерской экономичности, манёвренности, прочности и технологичности конструкции. Поэтому вопросы геометрии крыла, выбора профилей и устройства механизации занимают центральное место в самолётостроении и постоянно развиваются по мере появления новых материалов, расчётных методов и требований к самолётам.

Под геометрией крыла понимают совокупность параметров его формы в плане, по размаху и по толщине. К ключевым параметрам относятся размах, корневая и концевая хорды, удлинение, сужение, стреловидность, угол поперечного «V» (диэдр или анедр), крутка крыла, а также тип обводов по размаху – прямое, трапециевидное, эллиптическое, стреловидное, дельта-крыло и их комбинации. Удлинение определяется как квадрат размаха, делённый на площадь крыла, и оказывает решающее влияние на индуктивное сопротивление и нагрузку по размаху: высокое удлинение снижает индуктивное сопротивление и улучшает планирующие качества, но ведёт к увеличению изгибающих моментов и усложняет конструкцию.

Поперечный угол «V» (диэдр) придаётся крылу для обеспечения поперечной статической устойчивости: при отклонении самолёта по крену крыло, опустившееся вниз, оказывается под большим эффективным углом атаки и создаёт большой подъём, стремясь вернуть самолёт в исходное положение. Отрицательный угол «V» (анедр) используется на ряде высокоманёвренных или многомоторных самолётов для снижения избыточной поперечной устойчивости и повышения управляемости.

Круткой крыла называют плавное изменение угла установки профиля по размаху – как правило, от большего значения у корня к меньшему на конце, то есть так называемую отрицательную крутку. Крутка позволяет формировать более благоприятное распределение подъёмной силы, оттягивать срыв потока к корню и тем самым обеспечить предсказуемое поведение самолёта при выходе на предельные углы атаки. Геометрические параметры крыла подбираются не отдельно, а в комплексе: например, для крыла с большой стреловидностью ха-

рактерна иная оптимальная крутка и форма в плане, чем для прямого крыла среднего удлинения. В современных проектах задачу подбора геометрии решают с помощью трёхмерных численных методов и оптимизационных алгоритмов, учитывающих как аэродинамику, так и прочность, и массу.

Наряду с геометрией планформы не менее важен выбор профилей крыла – то есть формы поперечного сечения. Профиль определяет зависимость коэффициентов подъёма и сопротивления от угла атаки, положение центра давления, момент относительно четверти хорды, а также тенденцию к срыву потока и характер обтекания в различных режимах. В классической аэродинамике профиль описывается распределением кривизны средней линии и распределением толщины по хорде; для практики важны такие параметры, как максимальная относительная толщина, положение максимальной толщины, максимальная относительная кривизна и положение максимальной кривизны. Толстые профили обеспечивают лучшие прочностные и объёмные характеристики (возможность размещения топлива, шасси, механизмов), но при этом, как правило, обладают повышенным лобовым сопротивлением и несколько меньшими максимальными коэффициентами подъёма; тонкие профили, наоборот, дают меньшее сопротивление, но ограничивают внутренние объёмы и снижают жёсткость конструкции.

Выбор конкретных профилей зависит от класса самолёта и целевых режимов полёта. Для дозвуковых транспортных и пассажирских самолётов чаще применяют профили с умеренной толщиной и кривизной, ориентированные на достижение минимального сопротивления в области рабочих коэффициентов подъёма на крейсерском режиме и достаточно высоких значений максимального коэффициента подъёма с убранной и выпущенной механизацией. Существенное развитие получили ламинарные и сверхкритические профили, у которых форма верхней и нижней обшивки подбирается так, чтобы на как можно большей части хорды сохранялось ламинарное или слабо возмущённое течение, а скачок уплотнения на трансзвуковых скоростях был ослаблен или смещён назад, уменьшая волновое сопротивление. В практическом проектировании широкое распространение получили «каталожные» профили (например, серии NACA, NASA, европейские семейства), выбор которых ведётся с учётом комплексных требований – аэродинамики, структуры, технологичности и стоимости.

Особенностью реального крыла является то, что по размаху могут применяться различающиеся профили или модификации одного базового профиля. В корневой части, где важны объём и прочность, используют более толстые сечения, а на законцовках – более тонкие, с несколько иными характеристиками по

моменту и критическому числу Маха. Это позволяет добиться оптимального сочетания прочности, веса и аэродинамики и сформировать требуемое распределение подъёма по размаху. Дополнительно может вводиться аэродинамическая крутка – плавное изменение профиля или угла его установки таким образом, чтобы на рабочих режимах обеспечить близкую к эллиптической по распределению нагрузку и благоприятное поведение на срыве по всему размаху.

Существенное значение для поведения самолёта при взлёте и посадке, а также при полёте на малых скоростях имеют устройства механизации крыла – подвижные аэродинамические поверхности, увеличивающие подъёмную силу и изменяющие распределение давления на крыле. Основную группу таких устройств составляют закрылки на задней кромке и предкрылки или слаты на передней кромке. Общий принцип действия механизации состоит в том, чтобы либо увеличить кривизну профиля, либо увеличить площадь крыла, либо улучшить работу пограничного слоя, не допуская раннего срыва потока. Поскольку крейсерский полёт занимает большую часть времени, крыло оптимизируют именно под него, делая относительно компактным, со сравнительно небольшим удлинением и умеренной нагрузкой на крыло; при этом взлётно-посадочные скорости оказываются довольно высокими, и без применения механизации они были бы недопустимы. Высокоподъёмные устройства компенсируют этот компромисс: при их выпуске максимальный коэффициент подъёма крыла возрастает в полтора-два раза и более, а требуемые скорости взлёта и посадки снижаются, что позволяет использовать более короткие ВПП и повышает безопасность.

Закрылки – наиболее распространённый тип механизации по задней кромке. Простейший вариант – обычный поворотный закрылок, представляющий собой подвижную часть профиля в зоне задней кромки, отбрасываемую вниз вокруг оси, близкой к линии хорды. При этом увеличивается кривизна профиля, и, как следствие, растут коэффициент подъёма и максимальный коэффициент подъёма, однако увеличивается и сопротивление, а также момент относительно четверти хорды, что требует компенсации рулём высоты. Более совершенной разновидностью являются щелевые закрылки, в которых между основной частью крыла и отклонённой частью профиля образуется щель, через которую поток с нижней поверхности перетекает на верхнюю, энергизируя пограничный слой и задерживая его отрыв на больших углах атаки. Это позволяет применять большие углы отклонения без резкого роста сопротивления и срыва потока.

Фоулер-закрылки, широко используемые на современных пассажирских самолётах, при выпуске не только отклоняются вниз, но и смещаются назад, существенно увеличивая площадь крыла и его удлинение. За счёт комбинации увеличения кривизны и площади удаётся получить очень высокие значения максимального коэффициента подъёма и реализовать взлёт и посадку на относительно небольших скоростях. Существуют однощелевые, двухщелевые и трёхщелевые фоулер-закрылки, в которых каждая секция образует свою щель и работает как отдельный элемент высокого удлинения. В результате крыло в посадочной конфигурации превращается практически в многоэлементный крыловой профиль с существенно изменённой формой, распределением давления и характеристиками обтекания. В то же время сложность конструкции, масса приводов и систем синхронизации, требования к надёжности и обслуживанию накладывают ограничения на число элементов и общую сложность механизации.

Исторически применялись также разрезные закрылки, в которых вниз отклоняется только нижняя панель задней части крыла, в то время как верхняя остаётся неподвижной. Такие закрылки дают значительный прирост подъёмной силы, но сопровождаются резким ростом сопротивления, что сделало их популярными на ранних скоростных самолётах, где требовалось интенсивное торможение на посадке, однако позднее они были в значительной мере вытеснены более эффективными щелевыми и фоулер-закрылками. Существуют и более специальные типы закрылков (типов Джанкерса, Гужа, Юнгмана и др.), которые сочетают признаки крыльевых и элеронных устройств и находят применение в нишевых задачах или на исторических самолётах.

Предкрылки и слаты относятся к механизации на передней кромке крыла. Фиксированные предкрылки представляют собой неподвижные профилированные элементы, установленные на некотором расстоянии перед основной передней кромкой, образующие постоянную щель, через которую поток с нижней поверхности заходит на верхнюю, отодвигая срыв потока при больших углах атаки. Подвижные слаты и крюгеровские закрылки при выпуске выдвигаются вперёд из передней кромки, изменяя локальный профиль и образуя щель, а в убранном положении формируют гладкий контур, оптимальный для крейсерского режима.

С аэродинамической точки зрения работа механизации отражается в изменении поляр крыла: линии зависимости коэффициента подъёма от угла атаки и коэффициента сопротивления от подъёма. Для проектирования высокоподъёмных систем задаются целевые значения максимального коэффициента подъёма и

соответствующих углов атаки в различных конфигурациях. При выпуске закрылков и слатов увеличивается как рабочий диапазон углов атаки до срыва, так и максимальное значение подъёмной силы, при этом растёт минимальное сопротивление, а кривые сопротивления смещаются вверх.

Все подвижные элементы нуждаются в приводах – механических, гидравлических или электромеханических, – в системах синхронизации и блокировки, а также в датчиках положения и системе управления, интегрированной с автопилотом и системами защиты по перегрузкам и углам атаки.

Поведение крыла с точки зрения аэродинамики и прочности тесно связано с его конструктивно-силовой схемой. Современное крыло, как правило, строится как многолонжеронная или коробчатая балка, внутри которой размещаются топливные баки, системы управления и прочее оборудование. Форма профиля определяет распределение толщины по хорде, а следовательно, и возможности размещения лонжеронов, стрингеров и нервюр. Более толстые корневые сечения позволяют разместить мощные лонжероны, воспринимающие изгибающие и крутящие моменты, и обеспечить требуемую жёсткость, в то время как к законцовке толщина уменьшается, ориентируясь на аэродинамические требования и снижение массы. В композиционных крыльях значительная часть несущей структуры зачастую интегрируется с обшивкой, образуя единую коробчатую структуру с высокими удельными характеристиками жёсткости и прочности; это накладывает дополнительные ограничения на допустимую геометрию профилей и схемы механизации.

В итоге крыло современного самолёта представляет собой сложную интеграцию геометрии, профилей и механизации, в которой каждая деталь подчинена общей задаче обеспечения эффективного и безопасного полёта. Геометрические параметры – удлинение, сужение, стреловидность, крутка и угол «V» – определяют общие черты аэродинамического поведения и распределение нагрузок. Профили в сочетании с конструктивной схемой задают баланс между подъёмной силой, сопротивлением, моментами, внутренними объёмами и структурной эффективностью. Механизация крыла, в свою очередь, позволяет варьировать эти характеристики в широких пределах, приспособлявая крыло к взлёту, набору высоты, крейсерскому полёту, маневрированию и посадке. Современные материалы, производственные технологии и методы расчёта позволяют конструировать всё более сложные и совершенные крыльевые системы, но при этом неизменным остаётся фундаментальный компромисс между требованиями различных режимов полёта, который и определяет конечный облик крыла самолёта.

Список литературы

1. Корнушенко, А. В. Разработка геометрии механизированного крыла ближнемагистрального и регионального самолетов / А. В. Корнушенко, М. В. Федоров, С. М. Чернышова // Материалы XIII школы-семинара "Аэродинамика летательных аппаратов", п. Володарского, 28 февраля – 01 марта 2002 года. – п. Володарского: Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского, 2002. – С. 56-57. – EDN WIXWSB.
2. Вирченко, Г. А. Компьютерное моделирование базовой геометрии крыла самолета / Г. А. Вирченко, Р. Г. Хачатрян. – 2013. – № 26. – С. 121-126. – EDN WZVQTL.
3. Метод проектирования профиля крыла трансзвукового транспортного самолета на основе последовательного математического моделирования и параметрической оптимизации / А. В. Пантелеев, В. К. Гунчин, И. С. Надоров, И. А. Ахмедов // Моделирование и анализ данных. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 56-75. – DOI 10.17759/mda.2025150304. – EDN WDXFR.

References

1. Kornushenko, A.V. Development of the geometry of the mechanized wing of short-range and regional aircraft / A.V. Kornushenko, M. V. Fedorov, S. M. Chernyshova // Proceedings of the XIII school seminar "Aerodynamics of aircraft", P. Volodarsky, February 28 – March 01, 2002. – P. Volodarsky: Central Aerohydrodynamic Institute named after Professor N.E. Zhukovsky, 2002. – pp. 56-57. – EDN WIXWSB.
2. Virchenko, G. A. Computer modeling of the basic geometry of an airplane wing / G. A. Virchenko, R. G. Khachatryan. – 2013. – No. 26. – pp. 121-126. – EDN WZVQTL.
3. A method for designing the wing profile of a transonic transport aircraft based on sequential mathematical modeling and parametric optimization / A.V. Panteleev, V. K. Gunchin, I. S. Nadorov, I. A. Akhmedov // Modeling and data analysis. – 2025. – Vol. 15, No. 3. – pp. 56-75. – DOI 10.17759/mda.2025150304. – EDN WDXFR.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА СОВРЕМЕННЫХ САМОЛЕТОВ

Е.И. Скворцова¹, А.С. Ягодкин¹, В.К. Зольников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена аварийной топливной системе современных самолётов, подчёркивая её роль в обеспечении надёжной подачи топлива в экстремальных условиях. Рассматриваются принципы многоуровневого резервирования, ключевые компоненты (баки, насосы, клапаны, трубопроводы), меры защиты от утечек и топливного голодания, а также системы контроля, диагностики и сброса топлива. Обсуждается эволюция систем от поршневых самолётов к цифровым комплексам на примерах Boeing 737, Airbus A320 и российских лайнеров (Ту-214, SSJ-100, MC-21), с акцентом на безопасность и соответствие нормам ИКАО.

Ключевые слова: аварийная топливная система, подкачивающие насосы, топливные баки, клапаны перекрестной подачи, коллектор топлива, защита от утечек, система сброса топлива, датчики давления и уровня.

AIRCRAFT EMERGENCY FUEL SYSTEM

E.I. Skvortsova¹, A.S. Yagodkin¹, V.K. Zolnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article is devoted to the emergency fuel system of modern aircraft, emphasizing its role in ensuring reliable fuel supply in extreme conditions. The principles of multilevel redundancy, key components (tanks, pumps, valves, pipelines), protection measures against leaks and fuel starvation, as well as control, diagnostic and fuel discharge systems are considered. The evolution of systems from piston-powered aircraft to digital complexes is discussed using the examples of Boeing 737, Airbus A320 and Russian airliners (Tu-214, SSJ-100, MS-21), with an emphasis on safety and compliance with ICAO standards.

Keywords: emergency fuel system, booster pumps, fuel tanks, cross-feed valves, fuel collector, leak protection, fuel discharge system, pressure and level sensors.

Топливная система современного самолёта относится к числу наиболее критичных технических подсистем. От её корректной работы зависит не только

экономическая эффективность полёта, но и безопасность всех людей на борту. Надёжность подачи топлива к двигателям должна обеспечиваться в любых условиях – включая экстремальные ситуации, когда отдельные компоненты системы выходят из строя.

Развитие топливных систем летательных аппаратов прошло несколько этапов, отражающих эволюцию авиационной техники. В период доминирования поршневых двигателей применяются простые механические системы подачи топлива, основанные на принципах гравитационной подачи и использовании механических переливных клапанов. С внедрением реактивных силовых установок и повышением требований к дальности и скоростным характеристикам летательных аппаратов конструкции топливных систем претерпела усложнение конструкции. Современные системы включают в себя электрические подкачивающие насосы высокого давления, устройство автоматического дозирования расхода топлива, а также развитую сеть датчиков контроля давления и уровня топлива в баках. Указанные элементы обеспечивают не только надёжность, но и оптимизацию расхода энергоресурсов при полёте.

Аварийная топливная система содержит несколько независимых уровней защиты от отказа основной системы подачи топлива. На большинстве современных многодвигательных самолётов, таких как Боинг 737, Аэробус А320 и российские самолёты типа Ту-214, SSJ-100 и MC-21, топливная система разделена на несколько основных компонентов, каждый из которых может функционировать независимо от остальных. Топливо хранится в основных крыльевых баках, центральном баке, резервных баках и специализированных отсеках, расположенных в фюзеляже и хвостовой части самолёта. Конструкция каждого бака предусматривает наличие встроенных электрических подкачивающих насосов, регулирование которых обеспечивает непрерывность подачи топлива в главный распределительный коллектор системы топлива.

Электрические подкачивающие насосы являются критическим элементом топливной системы, так как именно они обеспечивают подачу топлива из баков в коллектор и двигатели против действия сил инерции при манёврах самолёта. На большинстве гражданских самолётов каждый основной топливный бак оборудован двумя независимыми подкачивающими насосами переменного тока, питаемыми от отдельных распределительных шин системы электроснабжения. Насосы изготавливаются из высоконадёжных материалов и могут работать длительное время без обслуживания благодаря применению герметичных подшип-

ников и корпусов, полностью заполненных топливом, которое выполняет функцию как смазки, так и охлаждающей жидкости. Номинальная производительность каждого насоса подбирается таким образом, чтобы один насос мог обеспечить подачу топлива, превышающей максимальный потребление двигателя при полном газе примерно на 20–30 процентов.

В дополнение к основным насосам переменного тока в центральном баке и, в некоторых случаях, в крыльевых баках устанавливаются аварийные резервные насосы постоянного тока, которые автоматически включаются при обесточивании основной системы переменного тока. Эти насосы питаются от бортовых аккумуляторных батарей и способны обеспечивать полёт вспомогательной энергетической установки при наличии запаса топлива, а также могут быть использованы для запуска двигателя в полёте в случае несинхронного двойного пламегашения. При отказе всех трёх электрических насосов в подсистеме питания одного из двигателей подача топлива к работающему двигателю осуществляется путём подсоса топлива самим двигательным насосом до момента подключения перекрестного питания топливом от работающей подсистемы питания другого двигателя.

Датчики давления топлива, установленные в критических точках системы, непрерывно мониторят давление в коллекторах и линиях подачи к двигателям. При падении давления ниже установленного минимума система автоматически выдаёт предупреждение на контрольную панель экипажа. На контрольной панели для каждого подкачивающего насоса имеется отдельный переключатель вместе со световой сигнализацией о низком давлении, которая предупреждает об отказе насоса или критически низком уровне топлива в баке. Экипаж может вручную переключать насосы на и выключать их в зависимости от текущих условий полёта, хотя на современных самолётах большинство функций управления насосами выполняется автоматическими системами управления.

Оптимальное управление топливом в полёте требует выработки топлива из различных баков в определённой последовательности для поддержания центра тяжести самолёта в требуемом диапазоне и минимизации структурных нагрузок на конструкцию. Автоматическая система выработки топлива анализирует текущий вес самолёта, позицию центра тяжести и уровень топлива в каждом баке, а затем управляет клапанами распределения для автоматического переключения потребления между баками. Типовая последовательность выработки топлива предусматривает первоначальный расход топлива из центрального бака, что позволяет минимизировать изгибающую нагрузку на крылья за счёт перемещения

центра давления аэродинамических сил. После полного опустошения центрального бака система автоматически переключается на потребление топлива из крыльевых баков. Когда подкачивающие насосы более не могут выкачивать топливо из центрального бака из-за его полной выработки, остаток топлива может быть перемещён в основные баки через специальные переливные каналы, расположенные в верхних частях баков.

На контрольной панели пилотов присутствуют аналоговые или цифровые указатели количества топлива в каждом баке, а также общее количество оставшегося топлива, расстояние дальности полёта и прогноз времени наступления состояния топливного голодания на основе текущего расхода топлива.

При посадке самолёта, особенно в непредвиденных ситуациях, максимальная посадочная масса воздушного судна обычно значительно ниже максимальной взлётной массы, так как конструкция планера не рассчитана на динамические нагрузки, возникающие при приземлении с полным топливом. При необходимости посадки с большой массой топлива, например при отказе в полёте одного из двигателей, система аварийного сброса топлива позволяет экипажу выбросить избыточное топливо за борт для уменьшения массы самолёта до безопасной величины. Сброс топлива осуществляется путём перекачки топлива из основных и резервных баков через специальный клапан аварийного слива в магистральный трубопровод, из которого топливо выбрасывается за борт через два распределительных сопла, расположенные на задней кромке каждого крыла.

Расположение сопел слива на задней кромке крыла позволяет топливному потоку очень быстро распыливаться в воздухе благодаря высокой скорости потока воздуха, создаваемой движением самолёта с высокой скоростью, и минимизирует опасность попадания топлива на фюзеляж, оперение или любые другие части самолёта. Управление сбросом топлива осуществляется вручную с контрольной панели пилота или бортинженера в кабине посредством установки регулятора на требуемое количество сбрасываемого топлива. Система автоматически прекращает сброс при достижении заданного количества, выбранного экипажем. На контрольной панели присутствует указатель, показывающий скорость сброса топлива в килограммах в минуту и общее оставшееся количество топлива на борту. При выполнении процедуры аварийного сброса экипаж обязан следить за положением других воздушных судов в окружающем воздушном пространстве и уведомить органы управления воздушным движением о выполняемой процедуре.

Список литературы

1. Лещинер Л. Б., Ульянов И. Е., Творецкий В. А. Проектирование топливных систем самолётов / Лещинер Л. Б., Ульянов И. Е., Творецкий В. А.; ред. Степанов В. А. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1991. - 316 с.
2. Авторское свидетельство № 801443 А1 СССР, МПК В64D 37/00. Топливная система самолета: № 2788233/23: заявл. 29.06.1979: опубл. 20.03.2005 / И. Н. Майтов, В. М. Цыганов.
3. Платонова, А. С. Моделирование исправности топливной системы одномоторного самолета с помощью машинного обучения / А. С. Платонова // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 30 ноября – 01 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 262-264. – EDN SMSKBH.
4. Федоркевич, И. А. Имитационная модель топливной системы самолета с расходным баком / И. А. Федоркевич, Р. С. Отекин // Актуальные вопросы развития авиационной военной науки и практики : XIII Международная научно-практическая конференция военно-научного общества, посвященная 62-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос, Краснодар, 12 марта – 13 2023 года. – Краснодар: Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, 2023. – С. 272-276.

References

1. Leshchiner L. B., Ulyanov I. E., Tworetsky V. A. Designing aircraft fuel systems / Leshchiner L. B., Ulyanov I. E., Tworetsky V. A.; ed. Stepanov V. A. - 2nd ed., revised. and add. - M.: Mashinostroenie, 1991. 316 p.
2. Copyright certificate No. 801443 A1 of the USSR, IPC B64D 37/00. The fuel system of the aircraft: No. 2788233/23 : application. 06/29/1979: published. 03/20/2005 / I. N. Maitov, V. M. Tsyganov.
3. Platonova, A. S. Modeling the serviceability of the fuel system of a single-engine aircraft using machine learning / A. S. Platonova // Innovations in information technology, mechanical engineering and motor transport: Proceedings of the VI Inter-

national Scientific and Practical Conference, Kemerovo, November 30 – 01, 2022. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2022. pp. 262-264. EDN SMSKBH.

4. Fedorkevich, I. A. Simulation model of an aircraft fuel system with a fuel tank / I. A. Fedorkevich, R. S. Otekin // Actual issues of development of aviation military science and practice : XIII International Scientific and Practical conference of the Military Scientific Society dedicated to the 62nd anniversary of Yuri Gagarin's flight into space, Krasnodar, March 12 – 13, 2023. Krasnodar: Federal State-owned Military Educational Institution of Higher Education "Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serova" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2023, pp. 272-276.

РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПО ПО ДИСЦИПЛИНЕ «АЛГЕБРА ЛОГИКИ»

Т.В. Скворцова¹, Е.Г. Пешкова¹, О.А. Авилова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются разработка обучающей программы для студентов СПО по дисциплине «Алгебра логики». Анализируется рынок конкурентов, приводится обоснование конкурентоспособности и разбираются преимущества разрабатываемого проекта.

Ключевые слова: студенты, обучение, конкуренты, рынок, проблема, программа, СПО, алгебра логики.

DEVELOPMENT OF A TRAINING PROGRAM FOR STUDENTS OF SECONDARY EDUCATIONAL EDUCATION IN THE DISCIPLINE "ALGEBRA OF LOGIC"

T.V. Skvortsova¹, E.G. Peshkova¹, O.A. Avilova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the development of a training program for secondary vocational education students in the subject "Logical Algebra." The competitive market is analyzed, a justification for its competitiveness is provided, and the advantages of the project under development are discussed.

Keywords: students, training, competitors, market, problem, program, secondary vocational education, Boolean Algebra.

Современная система образования сталкивается с рядом вызовов современности, в частности с цифровизацией и необходимостью повышения эффективности учебного процесса в сегменте среднего профессионального образования. К примеру, «Алгебра логики», вызывает существенные трудности у студентов, в связи со своим абстрактным характером. Формализованный подход требует

от учащихся развитого абстрактного мышления, что в свою очередь приводит к низкой успеваемости в связи с низким уровнем вовлечения и усвоения материала. Вышеописанная проблема и существующие образовательные ресурсы, которые не всегда отвечают потребностям аудитории создают нишу, для разработки специализированных решений.

Проект направлен на решение основной проблемы низкого уровня вовлечения студентов СПО в изучение алгебры логики. Саму проблему можно разделить на два фактора. Первый, это требование высокой концентрации и логического мышления от студентов, а второй, это отсутствие удобных и интерактивных обучающих инструментов.

Образовательная направленность СПО, в большинстве своем, связана с практическим применением знаний, это может вызвать дополнительные трудности с темой, строящейся на сугубо теоретическом материале, без явной связи с будущей профессией в IT-сфере. Так же отсутствие современных технологий контроля собственного прогресса приводит к усугублению образовательного процесса. Таким образом, проблема становится комплексной, затрагивая как личную мотивацию студента, так и содержательно-методическую составляющую образовательного процесса.

Современный рынок образовательных программ и технологий предлагает достаточно широкий спектр решений для онлайн-обучения. Раздел алгебры логики в контексте СПО требует детального рассмотрения. Выделяется две основные категории анализа рынка онлайн-обучений: массовые открытия онлайн-курсов и специализированные платформы.

Проанализировав современный рынок, можно выделить три основные образовательные платформы, такие как Khan Academy, Stepik и OpenEdu. Основной образовательной направленностью Khan Academy являются качественные видеоуроки по различным дисциплинам, включая математику. Но наполнение образовательного курса не имеет глубоко структурированных курсов по алгебре логики, адаптированных под русские образовательные стандарты.

Stepik (рис. 1), будучи российской платформой, обладает рядом сильных сторон, в виде интерактивных заданий с автопроверкой, разными мотивационными программами, направленными на удержание интереса и поддержку мотивации пользователей. Что схоже с темой проекта. Но образовательный курс по алгебре логике сильно фрагментирован и не образует целостного понимания темы.

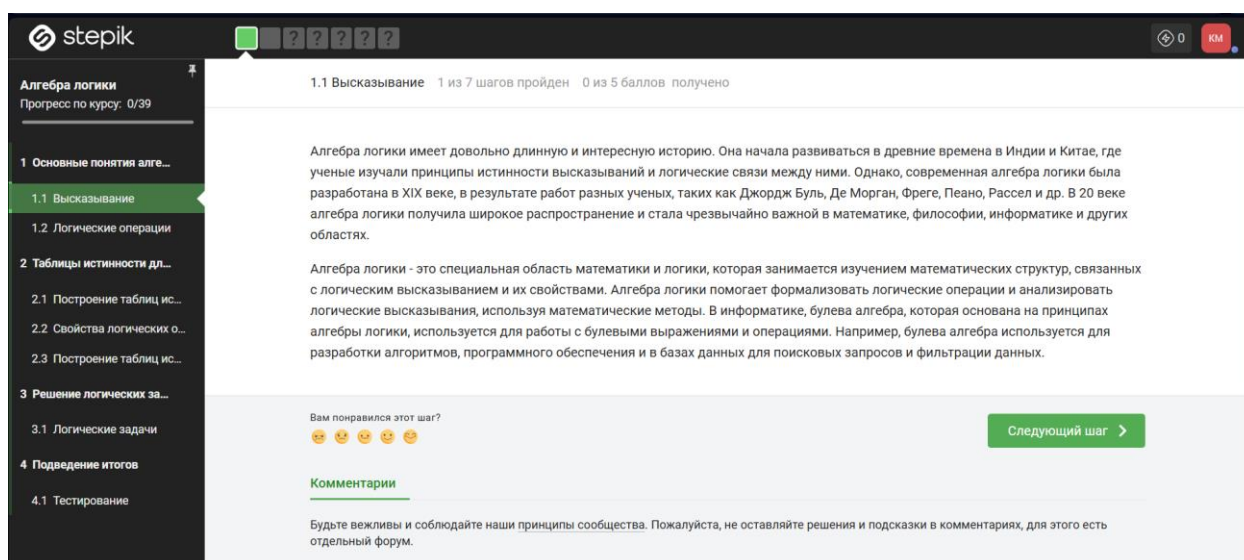


Рисунок 1 – Российская платформа Stepik курс «Алгебра логики»

Образовательная платформа OpenEdu (рис. 2), основывается на курсах от ведущих университетов, наполненные целостной информацией, дающей полное понимание разбираемой темы, но подача информации строится на теоретической информации, что не решает сложившуюся проблему.

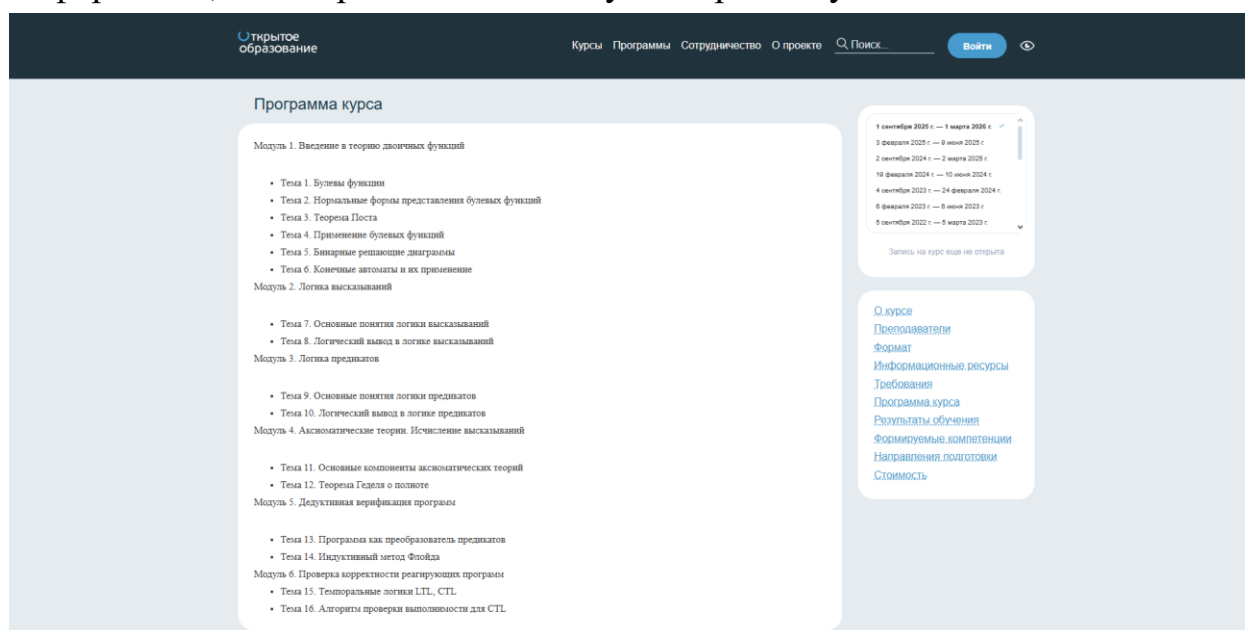


Рисунок 2 – Российская платформа OpenEdu курс «Математическая логика»

В сегменте платных решений доминируют международные платформы, например Coursera и Udemy (на момент ноября 2025 года доступ в РФ ограничен). Платформа Coursera предлагает высокое качество образовательных программ от лучших мировых университетов, включая выдачу сертификатов при окончании

образовательной программы. Но цена образовательного курса может быть неподъемной для аудитории, а содержание и методы подачи информации рассчитаны на уровень высшего образования, а не СПО.

Udemy характеризуется широким выбором курсов по демократичным ценам, но качество материалов сильно варьируется в зависимости от авторов. Так же платформа имеет систему рекомендаций и адаптируется под пользователя, но все эти функции развиты слабо. Так же обобщая все вышеперечисленные образовательные платформы, их работа невозможна без постоянного доступа в Интернет.

Проанализировав современный рынок онлайн курсов, можно прийти к выводу, что на рынке отсутствует специализированные офлайн-доступные, адаптивные и целостные продукты, отвечающие всем требованиям потребителя.

Предлагаемый проект предлагает принципиально иное решение, обладающий рядом преимуществ, которые предлагают особенные решения для студентов СПО.

Первое, это офлайн-функциональность, что является важным конкурентным признаком для предполагаемых конкурентов. Предполагается создать приложение, которое будет устанавливаться на персональный компьютер, под управлением ОС Windows. Это решает проблемы доступности образования для студентов, которые не имеют постоянного или качественного доступа к сети Интернет. Что является актуальным, для ряда образовательных учреждений в регионах России.

Так же, проект делает акцент на адаптивность и персонализацию. Планируется использование алгоритмов, а также элементов машинного обучения, для подбора образовательных методик для каждого студента. Что является конкурентными функциями по сравнению с такими курсами как Udemy, Coursera и Stepik.

Узконаправленность образовательного курса, является важным фактором, что позволяет более точно проработать содержание лекционного материала, лабораторных работ и тестов, чтобы те полностью соответствовали учебной программе СПО.

В таблице 1 расписаны конкурентоспособные характеристики для сравнения предлагаемого проекта и уже существующих курсов.

Проведя анализ описываемого проекта и конкурентов на рынке интернет-курсов, можно прийти к выводу, что проект разработки обучающей программы по алгебре логики для студентов СПО является актуальным и востребованным.

Он направлен на решение описанной выше проблемой – низкой вовлеченности и сложности усвоения материала. Основываясь на современных технологиях, направленных на офлайн-доступе и адаптивности под студентов, что в совокупности формирует конкурентное преимущество в сравнении с существующими массовыми платформами.

Таблица 1 – Характеристическое сравнение проектов и конкурентов

Характеристика	Предлагаемый проект	Khan Academy, Stepik (Бесплатные)	Coursera, Udemu (Платные)
Целевая аудитория (СПО)	Высокая специализация	Низкая или отсутствует	Низкая
Офлайн-доступ	Да	нет	Нет
Адаптивная система обучения	Да	Ограниченно	Ограниченно
Интеграция с учебным процессом (отслеживание прогресса для преподавателя)	Да	Нет	Нет
Стоимость для конечного пользователя	Распространение лицензий среди образовательных учреждений	Бесплатно	Платная подписка или покупка курса
Соответствие российской программе СПО	Высокое	Низкое или отсутствует	Низкое
Наличие практических работ	Да	Частично	Зависит от курса

Список литературы

1. Математическая логика. – URL: <https://openedu.ru/course/spbstu/MATLOG> (дата обращения 04.02.2026).
2. Алгебра логики. – URL: <https://stepik.org/course/172216/syllabus> (дата обращения 04.02.2026).
3. Матросов, В. Л. Математическая логика : учебник / В. Л. Матросов, М. С. Мирзоев. – Москва : Прометей, 2020. – 228 с. (дата обращения 04.02.2026).
4. Сосновский, М. Ю. Схемотехника. Цифровая схемотехника : метод. указания и рекомендации / М. Ю. Сосновский. – Иркутск : ИФ МГТУ ГА, 2021. – 47 с. – Текст : электронный // ЭБС «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/book/282815> (дата обращения: 04.02.2026).

5. Тюрин, С. Ф. Практическая цифровая схемотехника : учеб. пособие / С. Ф. Тюрин. – Пермь : ПНИПУ, 2020. – 55 с. – ISBN 978-5-398-02397-8. – Текст : электронный // ЭБС «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/book/239678> (дата обращения: 04.02.2026).

6. Кравченко, В. Ф. Алгебра логики, атомарные функции и вейвлеты в физических приложениях : учеб. пособие / В. Ф. Кравченко, В. Л. Рвачев. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 416 с. – Текст : непосредственный.

7. Артемов, М. А. Машинное обучение : учеб.-метод. пособие / М. А. Артемов, С. В. Золотарев, Е. С. Барановский. – Воронеж : ВГУ, 2021. – 22 с. – Текст : электронный // ЭБС «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/book/455024> (дата обращения: 04.02.2026).

8. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27–40. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. – Текст : непосредственный.

References

1. Mathematical Logic. – URL: <https://openedu.ru/course/spbstu/MATLOG> (accessed date 04.02.2026).

2. Algebra of Logic. – URL: <https://stepik.org/course/172216/syllabus> (accessed date 04.02.2026).

3. Matrosov, V. L. Mathematical logic : textbook / V. L. Matrosov, M. S. Mirzoev. Moscow : Prometheus, 2020. 228 p. (accessed date 04.02.2026).

4. Sosnovsky, M. Y. Circuit engineering. Digital circuitry : a method. instructions and recommendations / M. Y. Sosnovsky. Irkutsk : IF MSTU GA, 2021. 47 p. – Text : electronic // EBS "Lan". – URL: <https://e.lanbook.com/book/282815> (date of reference: 02/04/2026).

5. Tyurin, S. F. Practical digital circuit engineering : textbook. manual / S. F. Tyurin. Perm : PNRPU, 2020. 55 p. ISBN 978-5-398-02397-8. Text : electronic // EBS "Lan". – URL: <https://e.lanbook.com/book/239678> (date of request: 02/04/2026).

6. Kravchenko, V. F. Algebra of logic, atomic functions and wavelets in physical applications : textbook. manual / V. F. Kravchenko, V. L. Rvachev. – Moscow : FIZMATLIT, 2006. – 416 p. – Text : direct.

7. Artyomov, M. A. Machine learning : textbook.- the method. manual / M. A. Artyomov, S. V. Zolotarev, E. S. Baranovsky. Voronezh : VSU, 2021. 22 p. – Text : electronic // EBS "Lan". – URL: <https://e.lanbook.com/book/455024> (date of request: 02/04/2026).

8. V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun, Research of ways to protect information from leakage through acoustic and vibroacoustic channels // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 27-40. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. – Text : direct.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРСКИМИ ЗАЯВКАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.Ю. Слепченко¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, В.Ф. Асминин¹, Д.А. Володкин³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Рассматривается предприятие теплоэнергетического комплекса, для которого исследуется информационная система управления диспетчерскими заявками. Проведен анализ аналогов и прототипов программных продуктов. На основе проведенных исследований сформулировано техническое задание на разработку информационной системы управления диспетчерскими заявками.

Ключевые слова: диспетчерские заявки, предприятие, управление, теплоэнергетический комплекс, программные продукты, информационная система, техническое задание.

INVESTIGATION OF THE INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING DISPATCHING REQUESTS OF A HEAT AND POWER COMPLEX ENTERPRISE

V.Y. Slepchenko¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, V.F. Asminin¹, D.A. Volodkin³

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

³Voronezh State Technical University

Abstract. An enterprise of a thermal power complex is being considered, for which an information system for managing dispatch requests is being investigated. The analysis of analogues and prototypes of software products was carried out. Based on the conducted research, a technical task for the development of an information system for managing dispatching requests has been formulated.

Keywords: dispatching applications, enterprise, management, thermal power complex, software products, information system, terms of reference.

Введение

В котельном хозяйстве «Белгородской региональной генерации» находится 408 больших и малых котельных, ГТУ и ТЭЦ. Среди них крупными производителями тепловой энергии являются ГТУ ТЭЦ «Луч», ГТУ ТЭЦ, БТЭЦ, котельная «Южная», котельная «Западная», губкинская ТЭЦ и котельная «Журавлики» (г. Губкин).

На крупных объектах установлено несколько десятков единиц оборудования, являющихся объектами диспетчеризации. В таблице 1 представлен перечень наиболее важных объектов БТЭЦ.

Таблица 1 - Перечень основных объектов диспетчеризации БТЭЦ

Наименование	Кол-во, шт
Котёл водогрейный	4
Котёл паровой	4
Насос сетевой	4
Теплообменник пластинчатый	1
Механический фильтр	4
Натрий-катионитный фильтр	6
Бак расходный	1
Бак извести	1
Бак когулянт	1
Бак флокулянт	1
Бак регенерационной воды	1
Бак очищенной воды	1
Бак подпиточной воды	1
Бак-конусник	1
Деаэратор атмосферного типа	2
Деаэратор вакуумного типа	1

Насосная станция включает представляет собой систему из 10-12 электрических насосов. Кроме того, на БТЭЦ имеется и другое вспомогательное оборудование. В целом, на БТЭЦ, а также на других крупных объектах установлено около 50 единиц оборудования, подлежащего диспетчерскому контролю. Число объектов диспетчеризации на малых котельных в среднем достигает 5-ти. Таким образом общее число оборудования составляет примерно 2300 ед. (не включая задвижки, вентили и др. вспомогательные элементы теплосетевого хозяйства).

На любую деятельность, связанную с выводом этого оборудования в плановый, неплановый и др. ремонт, резерв, вводом в работу, проведением испытательных мероприятий диспетчерами ЦДС оформляется заявка. Кроме того, после окончания ремонтных работ по объектам диспетчеризации, имеющим особо важное значения (турбины, котлы, теплообменники, и т.д.) проводятся режимные испытания. В таблице 2 рассмотрено распределение видов работ, а в таблице 3 - транзакции БД.

Таблица 2 - Распределение видов работ

Вид работ	Периодичность, в год
плановый ремонт	2100
плановые испытания	800
неплановый и аварийный ремонт	2400
неплановые испытания	700
Итого:	6000

Таблица 3 - Транзакции БД

Этап	Действие	кол-во транзакций для одной заявки	кол-во транзакций в сутки
Оформление	сохранить оформленную заявку в БД	1	16
Утверждение	выбрать заявку из базы	1 - 2	16 - 32
	сохранить изменения в БД	1 - 2	16 - 32
Согласование	выбрать заявку из базы	1 - 5	16 - 80
	сохранить изменения в БД	1 - 5	16 - 80
Открытие заявки	выбрать заявку из базы	1	16
	сохранить изменения в БД	1	16
Закрытие заявки	выбрать заявку из базы	1	16
	сохранить изменения в БД	1	16
Анализ статистических данных	выбрать заявку из базы	1-10	16 - 160
Итого:		10 - 29	160 - 464

В течении года оформляется около 2100 заявок на плановый ремонт и около 800 заявок на плановые испытания. Количество неплановых и аварийных ремонтов, проводимых на предприятии очень велико, и составляет около 2400. Такие

значительные цифры объясняются тем, что практически всё оборудования, находящееся на балансе предприятия является сильно изношенным и требует тщательного обслуживания. По завершении непланового и аварийного ремонта особо важных объектов, так же, как и при плановом ремонте, проводятся режимные испытания, на проведение которых должна составляться диспетчерская заявка. Среднегодовое количество этих заявок составляет около 700 шт. Исходя из вышеперечисленного, общее количество заявок в течении года достигает 6000.

В сутки диспетчерская служба в среднем обрабатывает около 16-ти заявок. На обработку одной заявки приходится от 10-ти до 29-ти транзакций, в зависимости того во сколько этапов проходит утверждение и согласование заявки. Соответственно количество транзакций в сутки составляет от 16-ти до 464-х.

Анализ аналогов и прототипов

Программный комплекс «Заявки».

Описание. Программный комплекс «Заявки» позволяет специалистам осуществлять необходимые действия на всех уровнях делового процесса подготовки, рассмотрения, согласования и обработки диспетчерских заявок для проведения ремонтной кампании оборудования энергообъектов. В системе также предусмотрена возможность составления отчётов по статистике ремонтов. Статистика, может быть, как детализированной по дням, так и обобщенной по неделям. Имеется возможность экспорта статистики ремонтов в Excel, или вывода на печать.

Достоинства. Система предназначена непосредственно для обработки диспетчерских заявок. Система уже установлена на предприятии, и сотрудники её используют.

Недостатки. Программный комплекс «Заявки» ориентирован на обработку заявок на ремонт электроэнергетического оборудования. Чтобы обрабатывать в нём заявки на ремонт теплоэнергетического оборудования придётся адаптировать структуру базы данных и интерфейс системы.

Кроме того, в связи с тем, что заявки на ремонт оборудования, находящегося в управлении и ведении БРДУ и заявки, находящиеся в управлении и ведении ЦДС должны храниться в различных базах данных, необходимо производить настройку маршрутизации заявок между этими двумя базами данных.

Автоматизированная система контроля исполнения поручений МОТИВ

Описание. Автоматизированная система контроля исполнения поручений МОТИВ относится к Web-ориентированным приложениям и является мощным

организующим инструментом управления для любой организации. Программный продукт объединяет в себе возможность эффективной организации совместной работы сотрудников (workflow) и управления электронными документами. Таким образом, система МОТИВ призвана контролировать и существенно ускорять процесс выполнения задач, оказывать влияние на подготовку, согласование и исполнение документов.

Основной рабочей единицей системы является задача. Под задачей подразумевается определенный объем работ, который должен выполнить исполнитель. Каждая задача имеет определенный набор полей.

Задачи объединяются в проекты. Проект - это крупный, длительный по времени блок работ, который разбивается на отдельные задачи конкретным исполнителем. По задаче может быть зарегистрировано неограниченное количество действий.

Для дополнительной структуризации задач внутри проектов применяется понятие подзадача. Подзадачи целесообразно использовать, если требуется разбить крупную задачу на более мелкие задачи, то есть обеспечить разделение работы по исполнителям.

Каждый документ системы МОТИВ проходит определяемый маршрутной схемой согласования жизненный цикл. По каждому регистрируемому документу автоматически создается задача по его рассмотрению или исполнению. По завершении рассмотрения и исполнения документы переводятся в архив.

Достоинства. Система содержит средства коллективной работы, позволяющие автоматизировать процесс постановки поручений и задач, а также контроль их исполнения. Получение отчетов помогает составить полную картину деятельности отдельных сотрудников, подразделения или компании в целом.

Для полноценной работы в системе МОТИВ не требуются затраты на длительное обучение персонала, интерфейс приложения прост в понимании и обращении – необходимы лишь базовые навыки работы со стандартными офисными приложениями.

Недостатки. Система не ориентированна на обработку заявок на ремонт оборудования и не предоставляет доступ к исходному коду, вследствие чего её адаптация сопряжена с большими затратами.

Базовый комплекс ИГС «CityCom-ТеплоГраф»

Описание. Базовые комплексы различных отраслевых подсистем ИГС «CityCom» («ТеплоГраф», «ГидроГраф», «ГазГраф», «ЭлГраф») различаются

между собой в части, касающейся графического представления и описания инженерных сетей. Для каждой отраслевой подсистемы используются присущие соответствующей технологической области: наборы справочников и классификаторов, терминология, условные графические изображения, состав паспортизируемой информации по сетям и их объектам, наборы справок и выходных документов, процедуры ввода и обработки данных.

По сути, Базовый комплекс любой из отраслевых подсистем ИГС «CityCom» представляет собой вполне законченный инструмент «полного цикла» для создания сколь угодно подробной информационной модели, позволяющей полностью решить задачу паспортизации сетей и оборудования на базе масштабного или условно-масштабного графического представления на плане местности. Такая информационная модель является основой для решения большого числа эксплуатационных и производственно-технических задач. Будучи функционально законченной информационно-справочной системой, полностью покрывающей задачи графической визуализации и паспортизации сетей с привязкой к плану местности, Базовый комплекс ИГС «CityCom» в то же время дает возможность практически бесконечно наращивать функциональность системы, постепенно дополняя ее содержательными приложениями и конфигурируя целевые АРМы (автоматизированные рабочие места) на общей для всех пользователей информационной платформе.

При написании статьи использовались материалы исследований [1 - 13].

Заключение

С учетом требований, предъявляемых к функциональности разрабатываемого программного продукта, сформулировано техническое задание на разработку информационной системы управления диспетчерскими заявками.

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.
2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.

3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. - EDN: GBWORY.
4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. - EDN: QSOCOS.
5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.
6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.
7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.
8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.
9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2025. – С. 94-99.
10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.
11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.

12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFHX.

13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.

2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.

3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.

4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.

5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.

6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.

7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.

8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication networks // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.
10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.
11. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.
12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

ПРЕДПРОЕКТНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В.Ю. Слепченко¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, В.Ф. Асминин¹, Д.А. Володкин³

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Аннотация. Рассматривается задача информатизации деятельности отдела центральной диспетчерской службы ф-ла ОАО «ТГК-4» «Белгородская региональная генерация», а именно автоматизации процессов оформления, утверждения, согласования и хранения диспетчерских заявок на ремонт теплоэнергетического оборудования. Рассмотрены структуры предприятия теплоэнергетического комплекса и производственных подразделений, а также место, функции и структура Центральной диспетчерской службы. Исследованы организация управления ЦДС и порядок подачи и проработки диспетчерских заявок. Данное предпроектное обследование функционирования диспетчерской службы предприятия теплоэнергетического комплекса использовано для разработки информационной системы данного предприятия.

Ключевые слова: центральная диспетчерская служба, проектирование, структура предприятия, организация управления, диспетчерские заявки, информационная система.

PRE-DESIGN INSPECTION OF THE FUNCTIONING OF THE DISPATCHING SERVICE OF THE ENTERPRISE OF THE THERMAL POWER COMPLEX

V.Y. Slepchenko¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, V.F. Asminin¹, D.A. Volodkin³

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

³Voronezh State Technical University

Abstract. The article considers the task of informatization of the activities of the department of the central dispatching service of JSC TGC-4 Belgorod Regional Generation, namely, automation of the processes of registration, approval, coordination and storage of dispatcher applications for the repair of thermal power equipment. The structures of the enterprise of the thermal power complex and production units, as well as the location, functions and structure of the Central Dispatch Service are considered. The organization of CDP management and the procedure for submitting and processing dispatching requests are investigated. This preliminary survey of the functioning of the dispatching service of the enterprise of the thermal power complex was used to develop the information system of this enterprise.

Keywords: central dispatch service, design, enterprise structure, management organization, dispatch requests, information system.

Введение

В рамках данного исследования поставлена задача информатизации деятельности отдела центральной диспетчерской службы ф-ла ОАО «ТГК-4» «Белгородская региональная генерация», а именно автоматизации процессов оформления, утверждения, согласования и хранения диспетчерских заявок на ремонт теплоэнергетического оборудования. Для решения поставленной задачи требуется спроектировать и реализовать информационную систему управления диспетчерскими заявками. Разработку проекта планируется осуществлять в несколько этапов.

На первом этапе должно быть произведено всестороннее исследование и описание предметной области. А именно, должна быть изучена организационная структура предприятия, его деятельность и существующая система обработки информации.

Второй этап должен содержать исследование аналогов проектируемой информационной системы. Нужно провести сравнительный анализ методов обработки данных, требований к ресурсам ценовых и других характеристик систем. Проанализировав их достоинства и недостатки, нужно определить актуальность разработки нашей системы, и, в том случае, если создание системы имеет смысл, учесть опыт разработчиков аналогичных систем.

На третьем этапе проводится изучение имеющихся на предприятии нормативных документов, описывающих порядок оформления и обработки диспетчерских заявок. На основании положений этих документов, нужно определить состав функций, которые должна выполнять система. Также, в соответствии с нормативными документами предприятия, определяется содержание основного документа, которым будет оперировать информационная система – диспетчерской заявки.

Система должна осуществлять анализ данных и подготовку отчётов о состоянии парка оборудования и проводимых ремонтных работах. Для этого необходимо определить основные показатели, по которым ведётся учёт состояния оборудования.

Описание предметной области

Открытое акционерное общество «Теплоэнергетическая компания» осуществляет производство и поставку тепловой энергии, деятельность по эксплуатации тепловых сетей на территории Белгородской области площадью 27,1 тыс. кв. км с численностью населения 1513,1 тыс. человек, а также подключение новых потребителей к тепловым сетям компании.

В ведении ф-ла ОАО «ТГК-4» «Белгородская региональная генерация» находится 408 малых и больших котельных, расположенных на территории области. Основная задача ф-ла ОАО «ТГК-4» - обеспечение надежного функционирования и развития распределительного теплосетевого комплекса региона.

Структура предприятия теплоэнергетического комплекса

Структура предприятия определяются двумя основными моментами - структурой управления фирмой и структурой его функциональных подразделений.

Структура филиала ОАО «ТГК-4» «Белгородская региональная генерация» представляет собой процессно-функциональную структуру управления. Управляющий директор организует работу и эффективное взаимодействие производственных подразделений, отделов и служб компании; решает все вопросы в пределах своей компетенции и делегирует полномочия по выполнению производственно-хозяйственных функций директорам по следующим направлениям: экономика и финансы; инвестиции и закупки; сбыт; общие вопросы.

В ведение главного инженера компании входят «Служба надёжности и техники безопасности» и «Производственно-технический отдел». Полномочия по управлению «Электро-технической службой» (ЭТС) и «Центральной диспетчерской службой» (ЦДС) переданы заместителю главного инженера по эксплуатации. Функционально Компания делится на 5 производственных подразделений (ПП): ПП «Центральное»; ПП «Северное»; ПП «Восточное»; ПП «Южное»; ПП Белгородские теплосети (БТС).

ПП объединённые по территориальному признаку включают в себя ТЭЦ, ГТУ, мелкие и крупные котельные и тепловые сети. Они отвечают непосредственно за энергопроизводство: выработку, преобразование и распределение тепловой и электрической энергии.

Структура производственных подразделений

Структура каждого ПП построена аналогично структуре компании. Т.е. существует деление на функции административного и производственного управления. Начальник ПП организует работу главного инженера и зам. начальника производственного отделения по общим вопросам и отчитывается непосредственно перед директором компании.

Главный инженер координирует работу своих заместителей по малым котельным, по режимам, по производственно-техническому отделу (ПТО) и по тепловым сетям. Также ему подчиняются электротехническая служба, и отделение службы надёжности и техники безопасности.

Малые городские и районные котельные объединены в производственные участки по территориальному признаку. Все они находятся в ведении заместителя гл. инженера по малым городским и районным котельным и т/с. Отдельные крупные производственные объекты (например, участок Губкинской ТЭЦ, относящейся к ПП «Северное») находятся в ведении главного инженера. Отделом диспетчерской группы в ПП управляет зам. гл. инженера по режимам.

Место, функции и структура Центральной диспетчерской службы

Центральная диспетчерская служба (ЦДС) является структурным подразделением исполнительной дирекции «Белгородской региональной генерации». Административно она подчиняется директору ф-ла, а в вопросах производства и функционирования – заместителю главного инженера по эксплуатации.

Целью деятельности ЦДС является оперативное управление оборудованием и координация действий персонала предприятия (рис. 1):

Задачами оперативно-диспетчерского управления ЦДС являются:

- управление режимами электро- и теплоснабжения потребителей в соответствии с инструкциями и правилами;
- подготовка режимов, обеспечивающих возможность вывода оборудования в ремонт и ввода из ремонта в работу;
- работа с персоналом;
- локализация и участие в расследовании аварийных ситуаций;
- ведение диспетчерской документации и отчётности в установленном объеме.

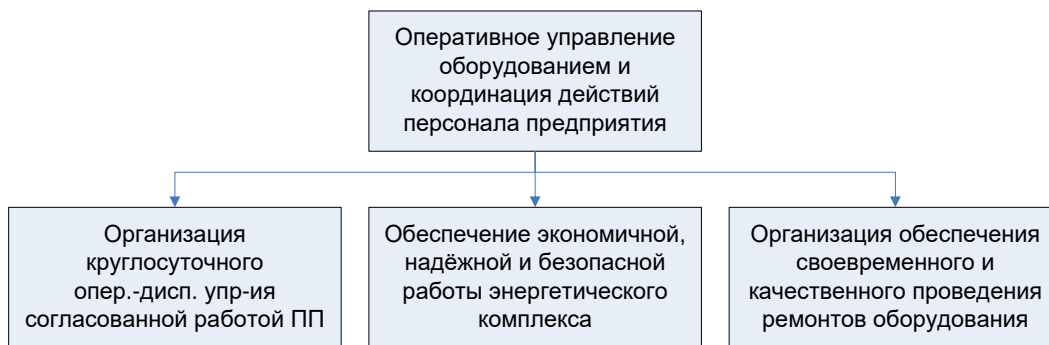


Рисунок 1 – Цели деятельности ЦДС

В соответствии с основными задачами ЦДС осуществляет следующие функции:

- 1) Управление режимами электро- и теплоснабжения потребителей в соответствии с инструкциями и правилами, а именно:
 - осуществление круглосуточного оперативно-диспетчерского управления согласованной работой теплоисточников и тепловых сетей в соответствии с заданными режимами работы и диспетчерским графиком выработки теплоэнергии;
 - контроль над выдерживанием энергообъектами ПП заданных гидравлических и температурных параметров работы теплосети согласно режимным картам и графикам.
 - своевременное и качественное составление перспективных прогнозов и текущих планов, представление статистической и другой отчетности, справок и обоснований;
- 2) Подготовка режимов, обеспечивающих возможность вывода оборудования в ремонт и ввода из ремонта в работу.
- 3) Работа с персоналом.

Организация управления ЦДС

Критерием оценки эффективности работы Службы является качественное и своевременное выполнение возложенных на него функций.

Непосредственное руководство Службой осуществляет Начальник ЦДС. Начальник ЦДС административно подчиняется заместителю главного инженера по эксплуатации. Начальник ЦДС распределяет работу между исполнителями, устанавливает сроки ее выполнения, контролирует качество выполненной работы, осуществляет работу по выполнению функций Службы. Во время отсутствия начальника Службы, его обязанности исполняет заместитель начальника ЦДС (рис. 2).

Порядок подачи и проработки диспетчерских заявок

Заявка на протяжении своего жизненного цикла проходит несколько этапов (рис. 3): оформление; утверждение; согласование; открытие (начало работ по заявке); закрытие (завершение работ по заявке); передача в архив; удаление (по истечении года).

Не все этапы являются обязательными: если заявка не проходит утверждение или согласование, то она передаётся в архив, минуя стадии открытия и закрытия. Также заявка может быть снята, если она ещё не прошла этап согласования. Снятая заявка также переводится в архив.

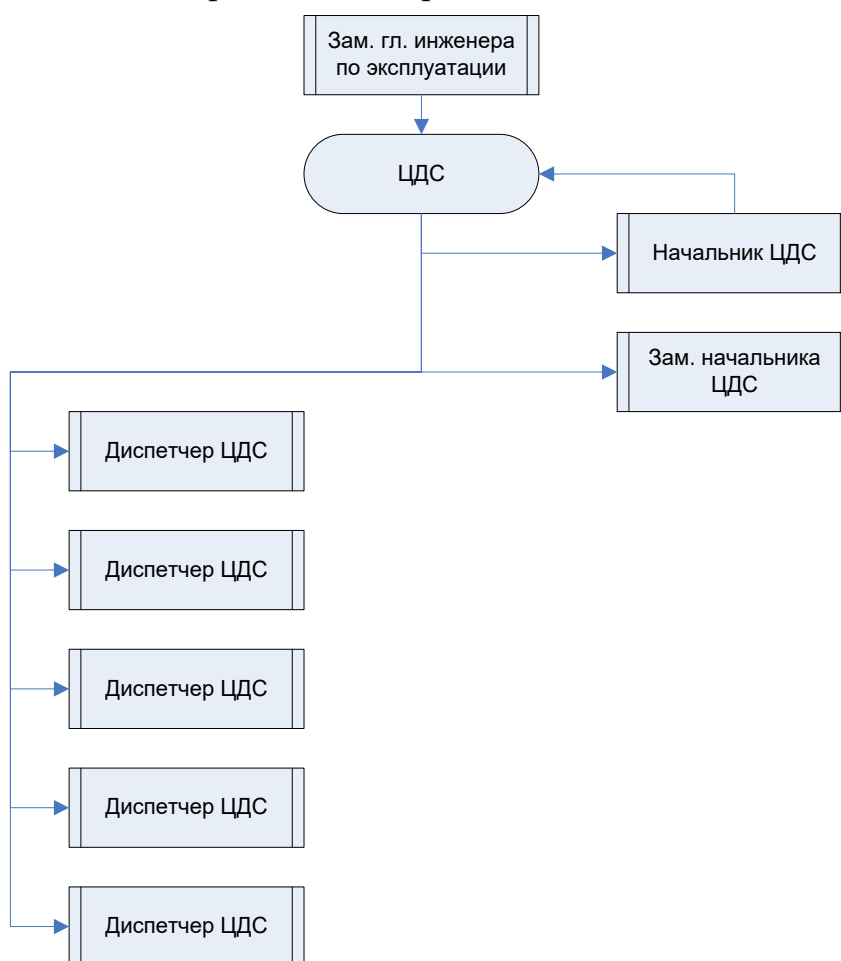


Рисунок 2 – Организационная структура ЦДС

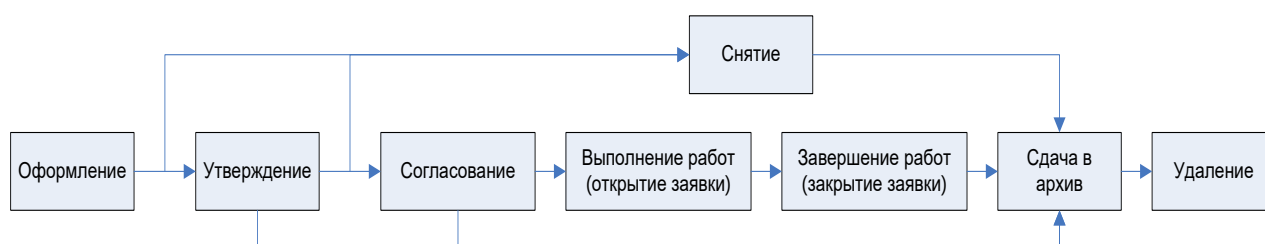


Рисунок 3 – Жизненный цикл заявки

Заключение

Заявка оформляется и передается на рассмотрение и принятие решения в диспетчерский центр. В ЦДС заявки подаются в соответствии с распределением объектов диспетчеризации по способу диспетчерского управления и ведения.

Изменение эксплуатационного состояния объектов диспетчеризации, находящихся в диспетчерском управлении или диспетчерском ведении ЦДС, должны оформляться диспетчерской заявкой независимо от наличия утвержденного плана ремонтов или технического обслуживания.

На основании выполненного предпроектного обследования, с учетом требований, предъявляемых к функциональности разрабатываемого программного продукта, сформулировано техническое задание на разработку информационной системы управления диспетчерскими заявками. Данное предпроектное обследование функционирования диспетчерской службы предприятия теплоэнергетического комплекса использовано для разработки информационной системы данного предприятия.

При разработке статьи использовались материалы исследований [1-13].

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.
2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.
3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. - EDN: GBWORY.
4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. - EDN: QSOCOS.
5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование

систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.

8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.

9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2025. – С. 94-99.

10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.

11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.

12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFNH.

13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.
2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.
3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.
4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.
5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.
6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.
7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.
8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication networks // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.
10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.

11. Akamsina, N.V., Lemeskin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.

12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АНАЛОГОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ДОКУМЕНТООБОРОТОМ ПРЕДПРИЯТИЯ «АВТОБАЗА ПОЧТЫ»**

М.С. Спиридонов¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, В.Ф. Асминин¹, В.А. Горюнов²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

Аннотация. Проведен обзор существующих систем, аналогичных разрабатываемой информационной системе управления документооборотом предприятия "Автобаза почты". Приведен обзор существующих систем, аналогичных разрабатываемой. Подробно рассмотрена программа АС «Автобаза +», разработанная фирмой «МайнСофт». Информационная система, создание которой будет целью последующей работы, будет способствовать экономии финансовых ресурсов за счет уменьшения трудоемкости учета персонала автобазы почты.

Ключевые слова: информационная система, автобаза, «Почта России», аналоги программ, программа АС «Автобаза +».

**RESEARCH OF MODERN ANALOGUES FOR THE DEVELOPMENT
OF A DOCUMENT MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM TURNOVER
OF THE COMPANY "AVTOBAZA POCHTA"**

M.S. Spiridonov¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, V.F. Asminin¹, V.A. Goryunov²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

Abstract. An overview of existing systems similar to the document management information system being developed at Avtobaza Pochta has been conducted. An overview of existing systems similar to the one under development is provided. The Avtobaza + Automated control system program, developed by MainSoft, has been reviewed in detail. The information system, the creation of which will be the purpose of the subsequent work, will contribute to saving financial resources by reducing the labor intensity of accounting for the personnel of the mine depot.

Keywords: information system, carpool, "Russian Post", program analogues, AU program "Avtobaza +".

Введение

В настоящее время на рынке существует большой выбор программного обеспечения, решающего различные задачи бухгалтерского, складского, управленческого оперативного учета. Разброс по функциональным возможностям, ценам и доступности для пользователя также довольно велик.

Часть программного обеспечения сразу поставляются с широким спектром возможностей на все случаи жизни. Довольно часто эти разработки имеют внушительную цену. Другие же, поставляются в стандартной конфигурации и очень доступны. Но настройка под конкретную организацию и последующее сопровождение иногда требует значительных затрат и в некоторых случаях превышает затраты на приобретение в несколько раз. Очень часто основной, а порой и единственной задачей эксплуатации программы является предоставление в соответствующие государственные службы правильно составленной отчетности.

Получение же из введенных в компьютер данных картины состояния предприятия на текущий момент, не говоря уже о продолжительном периоде, часто становится чрезвычайно трудоемкой или вообще неподъемной задачей. Оценка рентабельности предприятия, суммарных затрат на единицу выпускаемой продукции или предлагаемой услуги, возможность снижения себестоимости, прогнозирование доходов – вот далеко неполный перечень вопросов, которые хотел бы изучить любой руководитель, прежде чем принять какое-либо решение.

В условиях стабилизированной экономики и все возрастающей конкуренции становится необходимым просчитывать ситуацию на много ходов вперед, анализируя все возрастающую информацию из различных источников, проигрывая всевозможные сценарии.

Многие ли программные продукты могут позволить из громадного числа введенных в компьютер первичных документов (путевых листов, счетов, накладных, платежей) получить какую-либо цельную картину о состоянии предприятия и повлиять на решения о путях дальнейшего его развития?

Сравнительная характеристика имеющихся систем на примере АС «Автобаза +»

Приведен обзор существующих систем, аналогичных разрабатываемой. И первой программой в этом списке является АС «Автобаза +», разработанная фирмой «МайнСофт». Рассмотрим подробнее эту программу.

АС «Автобаза +» – это комплекс автоматизированных рабочих мест для учета реализации транспортных услуг на автобазе на базе ЭВМ. Условно состав комплекса можно разделить на следующие автоматизированные рабочие места:

- модуль «Диспетчер»;
- модуль «Учет реализации автоуслуг».

Комплекс необходим для автоматизации работы диспетчерской и экономической служб, а также бухгалтерии автобазы, связанной с учетом реализации транспортных услуг предприятиям связи и сторонним организациям.

Требования к комплексу

Комплекс автоматизированных рабочих мест для учета реализации транспортных услуг будет представлять собой систему реального времени, функционирующую на базе локальной вычислительной сети ЭВМ типа IBM PC AT. Автоматизация процессов учета и составления статистической, экономической и диспетчерской отчетности гарантирует достоверность полученных данных и способствует сокращению времени их.

Описание задач, которые сможет решить комплекс

Диспетчерская служба:

- планирование загрузки автотранспорта предприятия и водителей;
- данная функция реализуется при формировании наряда на текущий либо будущий рабочий день. Наряд будет формироваться из шаблона-расписания с учетом корректировок диспетчера (больничные листы, неявки водителей), а также вышедших приказов;
- выписка и регистрация отработанных путевых листов. Данная функция реализует полуавтоматический режим заполнения путевых листов. Диспетчер занесёт исходные данные, а модуль рассчитывает остальные показатели.
- ведение табеля работы водителей и автомашин;
- возможна поддержка полуавтоматический режим формирования табеля, учитывающий ночное, праздничное, переработанное и прочее время;

- учет расхода топлива с расчетом экономии или перерасхода по фактическому километражу;

- формирование выходных ведомостей. Основным выходным документом модуля будет являться отчет, который может быть представлен в сводном виде. При формировании этого отчета будет использоваться следующая информация: марка автомобиля, машино-дни, время простоя, число поездок с грузом, количество часов в наряде.

Экономическая служба. Для нужд экономической службы предприятия комплекс будет решать следующие задачи:

- ведение набора тарифных ценников на услуги автотранспорта. Данная функция сможет определять набор тарифных ценников для различных ситуаций, например, для каждого заказчика, для каждого маршрута, для каждого автомобиля и пр.

- обработка талонов заказчиков. В данной функции можно реализовать полуавтоматический режим обработки талонов. Бухгалтер определит или проконтролирует вид тарифной сетки, используемой при расчете суммы конкретной услуги, а модуль рассчитывает все остальные суммы.

- ведение статистического учета работы автотранспорта; К статистической отчетности, получаемой при работе комплекса, относится свод об автотранспорте за год работы. В этом отчете можно предусмотреть возможность получения статистических данных о количестве автомобильных единиц. Этот отчет будет формироваться в разрезе типов автотранспорта.

Бухгалтерия. К бухгалтерским задачам комплекса будет относиться обеспечение выполнения бухгалтерских проводок на основании первичных документов учета и их электронной копии, которые будут фиксировать выполнение той или иной хозяйственной операции.

Основными первичными документами для данного модуля будут являться:

- талон заказчика;
- счет;
- ведомость расхода горючего;
- табель водителя;
- путевой лист.

Ключевым документом в работе модуля будет являться ведомость доходов при реализации транспортных услуг. В данную ведомость будут входить следу-

ющие показатели: доходы по тарифу, различные доплаты, итого по валу. Все показатели будут приводиться как по плану, так и по фактическим данным в абсолютном и процентном отношениях.

Системный администратор. Системный администратор в комплексе «Автобаза +» выполняет следующие функции:

- общая настройка и конфигурация используемых модулей;
- контроль базы данных;
- формирование резервных копий базы данных и контроль их хранения;
- регистрация пользователей, определение их полномочий в системе.

Кроме всего вышеперечисленного, возможна также интеграция данной системы в комплекс бухгалтерского учета, развернутого на конкретном предприятии или в комплекс, разрабатываемый фирмой «МайнСофт».

На рынке программного обеспечения автобаз все еще появляются новые фирмы. Правда, чаще всего это результат «творческого» разделения известных фирм-разработчиков. Имеются довольно интересные методические и проектные решения, позволяющие увязать бухгалтерский учет и основные положения в работе автобазы, оперативно реагировать на изменения в законодательстве и выполнять возникающие при этом перерасчеты. С помощью многих систем можно осуществлять начисление зарплаты водителям и производить расчеты с клиентами.

Отметим общие тенденции разработки приведенных программ:

1. Большое внимание уделяется интеграции своих систем с приложениями MS Office. Для работы со всеми перечисленными программами не требуется специальных знаний, кроме знакомства с MS WINDOWS.

2. Многие поставщики решений для крупных предприятий особенно часто говорят об интеграции с уже используемыми там разработками. Нередко налаживается взаимодействие не только с технологическими комплексами, но и с программами конкурентов.

3. Многие фирмы реально имеют две системы. Одна, старая - это продукт давно устарел, но все еще продолжает работать, а другая является перспективной разработкой, в развитие которой вкладываются все силы.

4. Если говорить о функциональной наполненности программ для автоматизации работы автобаз, то - здесь наблюдается "дефицит" - во многих программах не удалось реализовать полный пакет необходимых функций.

Заключение

Оценивая ситуацию на рынке программного обеспечения, рассмотрены наиболее часто применяемые средства автоматизации управления и ведения документооборота на сегодняшний день. Среди имеющихся в настоящее время пакетов программ нет ни одного, удовлетворяющего всем названным требованиям заказчика.

По этой причине проведенное исследование необходимо для последующей разработки информационной системы, которая будет способствовать экономии финансовых ресурсов за счет уменьшения трудоемкости учета персонала автобазы почты.

При написании статьи использовались материалы исследований [1 - 13].

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.
2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.
3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. - EDN: GBWORY.
4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. - EDN: QSOCOS.
5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.
7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.
8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.
9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы : материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2025. – С. 94-99.
10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.
11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.
12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFHX.
13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.

2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.
3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.
4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.
5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.
6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.
7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.
8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication networks // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools : Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.
10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.
11. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.

12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТОМ ПРЕДПРИЯТИЯ "АВТОБАЗА ПОЧТЫ"

М.С. Спиридонов¹, С.А. Сазонова^{1, 2}, А.В. Лемешкин³, Д.И. Дронов²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет»

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Аннотация. Рассматривается экономическая и финансовая характеристика предприятия Белгородской автобазы «Почта России». Сформулированы основные задачи автобазы. Показано, что экономическая характеристика Белгородской автобазы связи такова, что в основном это расходы, которые состояли из почтовых транспортных услуг, коммерческих перевозок, ремонтных работ и платной стоянки, которую предлагает автобаза на своей территории. Построена организационная схема предприятия, которая показывает иерархический принцип построения структуры управления деятельностью Белгородской автобазы связи.

Ключевые слова: информационная система, автобаза, «Почта России», почтовые транспортные услуги, коммерческие перевозки, ремонтные работы, платная стоянка.

CHARACTERISTICS OF THE RESEARCH OBJECT FOR THE DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR DOCUMENT MANAGEMENT AT THE AVTOBAZA POCHTA ENTERPRISE

M.S. Spiridonov¹, S.A. Sazonova^{1, 2}, A.V. Lemeshekin³, D.I. Dronov²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Voronezh State Pedagogical University

³Voronezh State University of Engineering Technologies

Abstract. The economic and financial characteristics of the Belgorod automobile depot "Russian Post" are considered. The main tasks of the carpool are formulated. It is shown that the economic characteristics of the Belgorod communications depot are such that, basically, these are expenses that

consisted of postal transport services, commercial transportation, repair work and paid parking, which is offered by the depot on its territory. An organizational chart of the enterprise has been constructed, which shows the hierarchical principle of building a management structure for the Belgorod communications depot.

Keywords: information system, carpool, Russian Post, postal transportation services, commercial transportation, repair work, paid parking.

Введение

В последнее время многие корпоративные клиенты, приобретая новое программное обеспечение, оставались на старых программах учета путевых листов. Если заглянуть в историю компьютеризации, то первые программы созданные, как правило, сотрудниками собственного отдела автоматизации были "заточены" под специфику конкретного предприятия, к ним привыкли диспетчеры, инженеры, бухгалтера.

Однако на настоящий момент срок эксплуатации подобных программ, похоже, исчерпан, ведь невозможно бесконечно латать морально давно устаревшие продукты. К тому же сложности с их сопровождением возникают даже при частичном сокращении коллектива собственных разработчиков, а за последние годы и кадровый состав, и реорганизацию предприятий пережили большинство автобаз, и законодательная база претерпели существенные изменения. Вот и приходится полностью обновлять программное обеспечение.

Экономическая и финансовая характеристика предприятия Белгородской автобазы «Почта России»

Белгородская автобаза УФПС Белгородской области – филиала ФГУП «Почта России», создана на основании приказа директора УФПС Белгородской области – филиала ФГУП «Почта России» от 1 декабря 2003 года №31.1-02/22, действует в соответствии с законодательством РФ, уставом ФГУП «Почта России», Положением о Филиале и настоящим положением, приказами и распоряжениями ФГУП «Почта России» и УФПС Белгородской области – филиала ФГУП «Почта России».

Фирменное наименование Автобазы на русском языке:

- полное – Белгородская автобаза Управления федеральной почтовой связи Белгородской области – Филиала федерального государственного унитарного предприятия «Почта России».

- сокращенное: Белгородская автобаза УФПС Белгородской области – филиала ФГУП «Почта России»

Место нахождения Автобазы г Белгород, почтовый адрес 308023, Белгород, Промышленная 13.

Автобаза является обособленным структурным подразделением Филиала ФГУП «Почта России» и осуществляет часть его функций на территории Белгородской области. Автобаза не является юридическим лицом и действует на основании положения.

Основные задачи автобазы:

1. Оказание транспортных услуг и осуществление других видов деятельности, с целью получения прибыли.
2. Обеспечение перевозки почтовых отправлений, грузов и товаров по магистральным внутри областным, районным и городским маршрутам.
3. Оказание транспортных и экспедиционных услуг физическим и юридическим лицам. Организация междугородних и международных грузовых и пассажирских перевозок автомобильным транспортом.
4. Оказание услуг по хранению грузов, товаров, оказание складских услуг.
5. Организация пунктов автосервиса, технического обслуживания транспортных средств.
6. Автобаза организует бухгалтерской, налоговый и управленческий учет всех хозяйственных операций Автобазы, документооборот на основе законодательства РФ, положений по учетной политике и прочих распорядительных документов филиала и предприятия. Результаты деятельности отражаются в регулярной отчетности.

Автобаза связи доставляет почту во все районы области, а именно Валуйки, Старый Оскол, Алексеевка, Губкин, Прохоровка и во многие другие районы белгородской области. Кроме того, более 15 автомобилей заняты перевозкой почты по почтовым отделениям города Белгорода. Помимо перевозок белгородская автобаза связи осуществляет инкасационные работы по доставке пенсий по почтовым отделениям, осуществляет коммерческие перевозки и разовые заказы от населения. На балансе предприятия числится порядка 58 автомобилей. Численность персонала автобазы составляет 108 человек. Количество персональных компьютеров 8 единиц.

Экономическая характеристика Белгородской автобазы связи такова, что в основном это расходы, которые состояли из почтовых транспортных услуг, коммерческих перевозок, ремонтных работ и платной стоянки, которую предлагает автобаза на своей территории. В 2024 году произошло увеличение доходов по

сравнению с 2023 годом на 16,6%. Такое увеличение дохода произошло благодаря почтовым перевозкам и увеличением доходов с платной стоянки автомобилей. Внереализационные доходы также выросли, но не значительно.

Материальные затраты на производство выросли на 7% в 2024 году, это связано с увеличением стоимости бензина. Прочие расходы в 2024 году сократились на 32%. По статье прочая прибыль увеличилась компенсация за внутриобластные перевозки и служебный транспорт на 5,7%. В 2024 году в Белгородской автобазе сложился убыток, за счет увеличения фонда заработной платы, и сложилась дебиторская задолженность. Кредиторская задолженность на 2004 году сложилась из-за неуплаты подоходного налога.

В целом ситуация на предприятии такова: выручка за 2024 год выросла в 1,2 раза по сравнению с 2023 годом, причем выручка от основной деятельности предприятия выросла в 1,5 раза. Но и затраты на производство в 2024 году по сравнению с 2023 годом возросли. Выросли расходы на оплату труда рабочим, это было связано с увеличением фонда оплаты труда. Многие показатели имели рост в 2024 году, но не прочие расходы, наоборот этот показатель сократился. Но в целом в 2024 году наблюдался дефицит денежных средств, и год был сработан с отрицательными показателями, а именно прибыль от реализации услуг, это может быть связано с дебиторской задолженностью, т.е. дебиторы не вовремя оплачивали услуги, предоставляемые автобазой. Показатель рентабельности определяется отношением экономической прибыли к активам организации. При одинаковой экономической рентабельности предприятия прибыльность собственного капитала существенно зависит от структуры финансовых источников. Если у организации нет платных долгов, и по ним не выплачиваются проценты, то рост экономической прибыли ведет к пропорциональному росту чистой прибыли. Нулевой показатель рентабельности был в 2023 году 3,1, то, к сожалению, в 2024 году его нет.

Организационная структура Белгородской автобазы «Почта России»

Белгородская автобаза имеет структуру, изображенную на рис. 1.

Организационная схема показывает иерархический принцип построения структуры управления деятельностью Белгородской автобазы связи. Начальник автобазы является главным управляющим на автобазе и соответственно несет всю ответственность по работе автобазы. Специалисты находятся в подчинении начальника автобазы. Главный инженер руководит работой ремонтных и производственных служб, хотя принятие решения об оплате материалов для ремонта,

запасных частей, оборудования и оплата услуг сторонних организаций остается за генеральным директором.

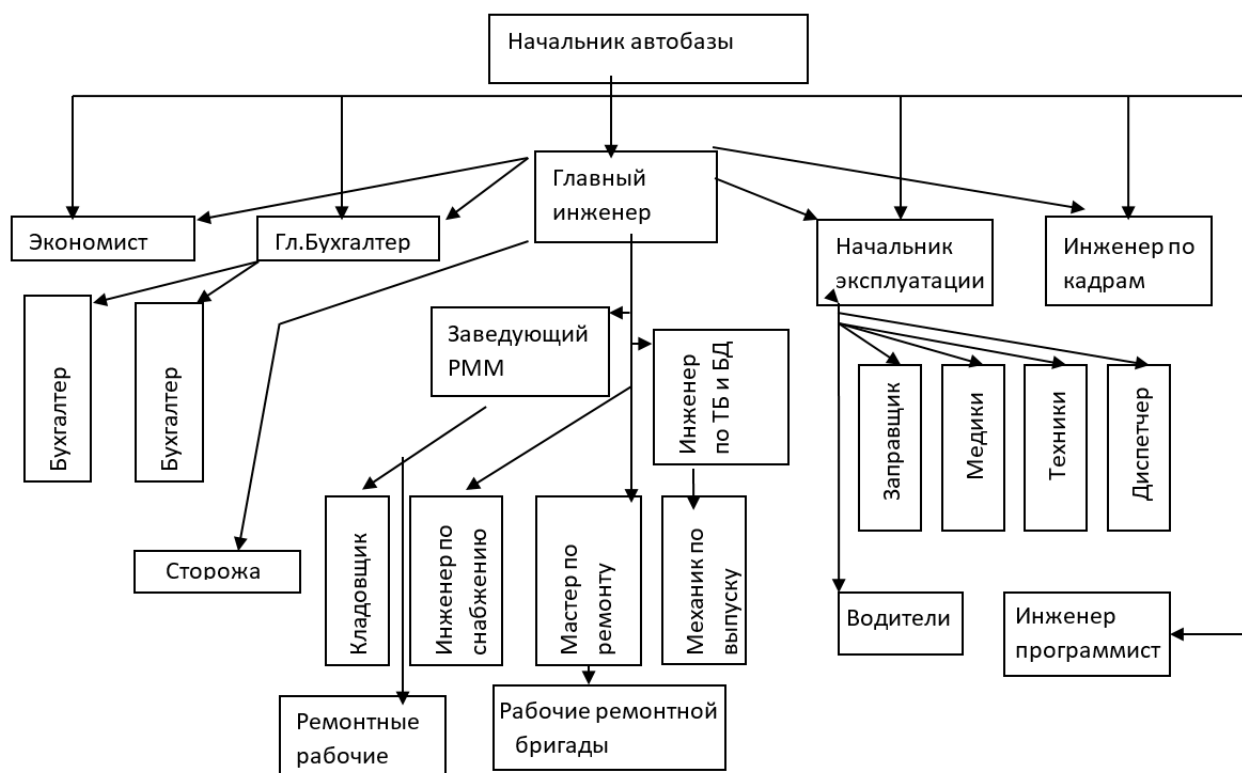


Рисунок 1 – Структура Белгородской автобазы

Заключение

При автоматизации работы автобазы и обеспечении её функционирования необходимо решить массу вопросов. В частности, определить, какими автомобилями комплектовать корпоративный гараж и какие эксплуатационные расходы повлечет приобретение тех или иных моделей. Кроме того, придется заниматься постоянной проблемой вроде мойки-заправки-ремонта, нанимать и поддерживать штат водителей. Все эти вопросы можно решить, выделив соответствующие ресурсы в рамках собственной структуры.

При написании статьи использовались материалы исследований [1 - 13].

Список литературы

1. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 3. – С. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. - EDN: LGIGCI.

2. Зольников, В. К. Моделирование распределения канального ресурса корпоративной сети связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, Е. А. Аникеев // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 1. – С. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44. - EDN: FNQMTK.
3. Зольников В. К. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 2. – С. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. - EDN: GBWORY.
4. Сазонова С. А. Моделирование неисправностей и методы генерации тестов сложных цифровых схем / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, Н. В. Акамсина, О.А. Соколова // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18. – № 4. – С. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94. - EDN: QSOCOS.
5. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.
6. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.
7. Акамсина, Н. В. Алгоритм оптимального составления расписаний реализации операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 9-11.
8. Акамсина, Н. В. Модели оптимального составления расписаний выполнения операций технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2012. – № 4. – С. 7-10.
9. Зольников, В. К. Изучение имитационного моделирования количественных параметров интенсивности нагрузки сегментов в корпоративных сетях связи / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин // В сборнике: Информационные технологии в образовательном процессе вуза и школы. материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2025. – С. 94-99.
10. Акамсина, Н. В. Выбор оптимальных запусков на технологических операциях полупроводникового производства / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2014. – № 4. – С. 4-6.

11. Акамсина, Н. В. Алгоритм выбора количественного состава оборудования технологических систем / Н. В. Акамсина, А. В. Лемешкин, Ю. С. Сербулов // Моделирование систем и процессов. – 2013. – № 3. – С. 5-8.

12. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. - EDN: DIXFHX.

13. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. - EDN: CSKRIZ.

References

1. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Asminin, V.F. Research and development of models for designing digital information processing chips // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 3. Pp. 89-99. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99.

2. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Anikeev, E.A. Modeling the distribution of the channel resource of a corporate communications network // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 1. Pp. 28-44. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-28-44.

3. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Zarevich, A.I., Bashun, S.S. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 2. Pp. 27-40. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40.

4. Sazonova, S.A., Zolnikov, K.V., Akamsina, N.V., Sokolova, O.A. Fault modeling and test generation methods for complex digital circuits // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18. No. 4. Pp. 84-94. DOI: 10.12737/2219-0767-2025-18-4-84-94.

5. Epifanov, E. N., Asminin, V. F., Sazonova, S. A. System analysis of acoustic properties of speech annunciators // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 4. Pp. 42-53. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53.

6. Sazonova, S. A., Koshel, A. N., Panteleev, I. N. [et al.] An algorithm for diagnosing leaks of a target product under uncertainty for a hydraulic system // Modeling of systems and processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 71-82. DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82.

7. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. Pp. 9-11.
8. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Models of optimal scheduling of operations of technological systems // Modeling systems and processes. 2012. No. 4. Pp. 7-10.
9. Zolnikov, V.K., Sazonova, S.A., Asminin, V.F. Study of simulation modeling of quantitative parameters of segment load intensity in corporate communication networks // In the collection: Information technologies in the educational process of universities and schools. Materials of the X1X All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2025. Pp. 94-99.
10. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Selection of optimal launches for technological operations of semiconductor production // Modeling of systems and processes. 2014. No. 4. Pp. 4-6.
11. Akamsina, N.V., Lemeshkin, A.V., Serbulov, Yu.S. Algorithm for selecting the quantitative composition of technological systems equipment // Modeling of systems and processes. 2013. No. 3. pp. 5-8.
12. Nikolenko, S.D., Kozodaev, S.P., Sazonova, S.A. Modeling of Internal Stresses Formation in Complex Material Structures // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 50-61. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
13. Sazonova, S.A., Shcherbakova, I.V., Smetankina, G.I. Modeling of Leakage Diagnostics Process Based on Binary Hypothesis with Consideration of Stochastic Consumption Interference in Hydraulic Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 1. Pp. 111-120. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОТ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДО ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КАК КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ И УСКОРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ

А.С. Стрюкова¹, А.В. Полуэктов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье показано, как компьютерное моделирование меняет автомобильную промышленность. Сегодня такие технологии, как многофизическое моделирование и цифровые двойники, – это уже не просто вспомогательные инструменты, а ключевой способ создавать инновации. Их комплексное применение позволяет значительно сократить время и расходы на разработку новых автомобилей. Необходимость в этом продиктована современными вызовами: глобальной конкуренцией, строгими экологическими нормами и развитием автономного транспорта. На основе анализа отраслевых практик и научных публикаций в работе определены главные направления использования моделирования, описаны перспективные тренды и доказана их экономическая эффективность для автопроизводителей.

Ключевые слова: моделирование систем, автомобильная промышленность, цифровой двойник, виртуальные испытания.

MODELING IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: FROM VIRTUAL TRIALS TO DIGITAL DOUBLES AS A KEY TOOL TO REDUCE COSTS AND ACCELERATE INNOVATION

A.S. Stryukova¹, A.V. Poluektov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov

Abstract. The article shows how computer modeling is changing the automotive industry. Today, technologies such as multiphysical modeling and digital twins are no longer just auxiliary tools, but a key way to create innovations. Their comprehensive application significantly reduces the time and cost of developing new cars. The need for this is dictated by modern challenges: global competition, strict environmental regulations and the development of autonomous transport. Based on the

analysis of industry practices and scientific publications, the paper identifies the main areas of use of modeling, describes promising trends and proves their economic effectiveness for automakers.

Keywords: modeling of systems, automotive industry, digital twin, virtual tests.

Современный автомобиль – это уже не просто механическое устройство. Под влиянием трендов, объединенных аббревиатурой CASE (электрификация, автономность, связность и сервисные модели), он превратился в сложный компьютер на колесах. В такой машине механика, электроника и миллионы строк кода работают как одно целое. Создавать их старыми способами – путем многократных переделок дорогих железных прототипов – стало слишком долго и дорого.

Чтобы справиться с этой сложностью, инженеры уже давно используют компьютерные модели. Существуют проверенные программы для расчета прочности деталей (FEA), обтекаемости воздуха (CFD) и поведения подвески (MBD). Многочисленные исследования и примеры из промышленности подтверждают, что эти инструменты отлично работают по отдельности.

Однако сегодня самой большой задачей становится не просто использовать эти модели, а заставить их «общаться» друг с другом. Следует разработать систему, в которой можно было бы соединить разрозненные расчеты, разработанные различными инженерами в единую цифровую цепочку, которая бы сопровождала автомобиль от чертежа до утилизации. Данный подход получил название «цифровой двойник».

Рассмотрим более подробно становление и переход к «цифровому двойнику», но при этом следует учесть, что без понимания истории невозможно понять введение новшеств.

Как развивалось моделирование в автопроме

Эволюцию моделирования в автомобильной промышленности можно представить как путь от простых задачек к целой цифровой вселенной. Раньше инженеры моделировали что-то одно, какую-нибудь отдельную деталь. А сегодня они строят целые взаимосвязанные миры, где тестируется весь автомобиль – от маленького винтика до ИИ, который им управляет. Этот путь проходит через несколько ключевых этапов. Давайте разберём их.

Первый этап: детали и их геометрия (CAD/CAE)

На этом этапе инженеры работают с программами как с виртуальными конструкторами. Они смотрят, выдержит ли деталь нагрузку (это называется FEA-анализ), или моделируют потоки воздуха вокруг кузова и внутри двигателя (CFD). Всё это – фундамент, основа для будущей концепции машины. Без него дальнейшая работа просто невозможна. Здесь оптимизируют форму, убирают лишний вес (и у кузова, и у отдельных деталей), предотвращают возможные поломки – и при этом не тратят ни грамма металла на реальную обработку. Но есть проблема. Автомобиль – это не набор деталей, а сложный механизм, где всё должно работать вместе, согласованно.

Второй этап: системы и агрегаты

На следующем этапе моделируют уже целые системы и их взаимодействие. Для этого есть специальные программы – например, Modelica или Simulink. Они позволяют создавать виртуальные копии тормозной системы, гибридной трансмиссии и так далее. Такой подход даёт возможность увидеть, как сотни компонентов ведут себя вместе: как давление в тормозной магистрали реагирует на сигнал датчика, или как бензиновый двигатель и электромотор делят нагрузку. По сути, инженеры собирают и отлаживают сложные системы на компьютере. Это экономит месяцы на изготовлении и испытаниях реальных образцов.

Третий этап: электроника, алгоритмы и цифровой двойник

Разработка «железа» – не самое сложное. Дальше идёт создание электронной начинки. Это алгоритмы автопилота и систем помощи водителю (ADAS). Тут уже моделируют и мехатронику, и софт. Сначала алгоритмы «учат» ездить в идеальной виртуальной среде. А потом проверяют, как тот же код поведёт себя на реальном автомобильном процессоре.

Вершина всей этой эволюции – «цифровой двойник». В отличие от старых моделей, которые были просто наборами чертежей и алгоритмов, цифровой двойник – это живая, динамическая копия конкретной машины. Он постоянно получает данные с датчиков реального автомобиля и подстраивается в реальном времени. Это позволяет не просто разбирать уже случившиеся поломки, а предсказывать будущие. Например, понять, что через 500 километров потребуется заменить какой-то подшипник. Так что цифровой двойник – это уже не просто

инструмент для разработчиков, а основа для новых бизнес-моделей: прогнозного обслуживания и персонализированного сервиса.

Что даёт переход к сквозному цифровому моделированию

Переход на сквозное цифровое моделирование – это не просто замена одних инструментов на другие. Это стратегическое решение, которое даёт реальные и очень весомые плюсы. Эффект чувствуется на всех этапах жизненного цикла. И измеряется он в сэкономленных деньгах, времени и даже в снижении вреда для экологии.

Меньше физических прототипов. Раньше инженеры делали десятки, а порой до 70 физических прототипов, чтобы проверить каждую доработку. Это были колоссальные траты на материалы, работу и перевозки. Сейчас благодаря комплексным симуляциям ведущие автопроизводители сократили число «железных» макетов до 10–15 за цикл. Представьте, сколько ресурсов освобождается, когда большинство проверок можно сделать на компьютере, не выходя из офиса.

Быстрее выход на рынок. Когда проектирование двигателя, подвески, электроники ведётся параллельно в одной виртуальной среде, исчезает куча бюрократических и логистических задержек. Но главный ускоритель – сами испытания. Полноценный виртуальный краш-тест выполняется за несколько часов и позволяет прогнать десятки сценариев. А подготовка и проведение одного реального краш-теста занимают месяцы. В условиях, когда каждый месяц задержки на рынке – это потеря конкурентного преимущества, сокращение сроков разработки на 20–40% становится решающим фактором.

Выше качество и безопасность. Цифровые инструменты позволяют тестировать по-настоящему досконально. Можно «прогнать» автомобиль через миллионы километров в разную погоду, смоделировать тысячи аварийных ситуаций с виртуальными пешеходами и манекенами. В реальности такие экстремальные сценарии воспроизводить сложно, дорого, а иногда и неэтично. В итоге инженеры находят и исправляют слабые места на самых ранних стадиях – а это напрямую повышает надёжность и безопасность для водителя.

Экологический эффект. Это сегодня выходит на первый план. Моделирование помогает устойчивому развитию с двух сторон. Во-первых, можно проектировать более «зелёные» автомобили: оптимизировать аэродинамику, чтобы снизить расход энергии, облегчать кузов, тонко настраивать работу силовой установки электромобиля для максимального КПД. Во-вторых, и это прямая экономия, сильно сокращается углеродный след от самого производства – ведь не нужно выпускать, возить и утилизировать десятки лишних прототипов.

Какие есть проблемы на пути к цифровому проектированию

Учитывая все плюсы, нельзя сказать, что путь к полноценному цифровому проектированию совсем гладкий. Есть свои трудности. Рассмотрим основные проблемы при переходе к новой доктрине проектирования. (Здесь текст обрывается, но по логике дальше должны идти сами проблемы. Если нужно, я могу их тоже переработать, как только вы пришлёте продолжение.)

Первый и самый очевидный барьер – это проблема с вычислительными мощностями, и она связана с тем, что высокоточные симуляции, учитывающие физику, прочность, температуру и электронику одновременно, – это огромный объём вычислений и для них требуются мощные суперкомпьютеры (HPC-кластера), доступ к которым есть не у каждой команды, что может ограничивать возможности небольших инноваторов или повышать затраты [7].

Второй, более фундаментальный вызов – это вопрос доверия к модели, или, говоря техническим языком, верификация и валидация. Виртуальные испытания бессмысленны, если их результаты не соответствуют реальности, поэтому каждую модель необходимо тщательно калибровать, сверяя с данными с реальных датчиков и испытательных стендов и разработка универсальных и строгих методик такой проверки является одной из ключевых научно-технических задач.

Третья проблема лежит в организационно-технической плоскости – это «разобщённость цифрового мира», т.к. на разных этапах проектирования используются десятки программ и зачастую они плохо «общаются» друг с другом, что создаёт сложности в обмене данными и приводит к ошибкам или потере времени на ручной перенос информации.

Подводя итог можно сделать вывод, что успех приносит не просто использование отдельных программ, а именно комплексная стратегия, выстроенная по принципу иерархии, когда данные от точного CAE-расчёта детали передаются в модель системы, а та, в свою очередь, становится частью глобального цифрового двойника, возникает синергетический эффект. Именно такая сквозная цепочка и является главным драйвером для сокращения издержек, ускорения выхода новинок и, в конечном счёте, повышения конкурентоспособности. Современный автомобиль, насыщенный электроникой и сложными системами, уже просто невозможно грамотно разработать без его глубокой и всесторонней виртуальной проработки.

Заглядывая вперёд, можно сказать, что следующий логичный шаг – создание единого и непрерывного информационного пространства на всём жизненном цикле машины: от зарождения идеи у дизайнера до повседневной эксплуатации

и последующей утилизации. Преодолев текущие проблемы с вычислительными мощностями и совместимостью софта, автопроизводители смогут использовать этот «цифровой след» для принципиально новых целей. Результатом станут не просто транспортные средства, а персонализированные, максимально безопасные и энергоэффективные продукты, которые будут постоянно эволюционировать даже после покупки. Таким образом, моделирование окончательно трансформируется из инструмента проектирования в основу для создания совершенно новых потребительских ценностей и бизнес-моделей в автомобильном мире.

Список литературы

1. Цифровая трансформация машиностроения России в контексте четвертой промышленной революции // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-mashinostroeniya-rossii-v-kontekste-chetvertoy-promyshlennoy-revolyutsii> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
2. Тренды цифровой трансформации мирового автомобилестроения // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-tsifrovoy-transformatsii-mirovogo-avtomobilestroeniya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
3. Определение энергоэффективных режимов работы пневмосистемы сочлененного электробуса путем математического моделирования // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-energoeffektivnyh-rezhimov-raboty-pnevmosistemy-sochlenennogo-elektrobusa-putem-matematicheskogo-modelirovaniya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
4. Цифровые двойники : характеристики, типология, практики развития // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-harakteristiki-tipologiya-praktiki-razvitiya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
5. Перспективы цифровой трансформации российского машиностроения // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-tsifrovoy-transformatsii-rossiyskogo-mashinostroeniya> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.
6. Сморчков, А. Е. Актуальность использования новейших средств и методов при испытаниях систем активной безопасности / А. Е. Сморчков // Молодой

учёный. – 2020. – № 20 (310). – С. 140–142. – Текст : электронный // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://moluch.ru/archive/310/70260> (дата обращения: 09.02.2026).

7. Высокопроизводительные вычислительные системы // WonderfulPCB : [сайт]. – URL: <https://www.wonderfulpcb.com/ru/blog/high-performance-computing-benefits-challenges-trends-industry/> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

8. Верификация и валидация компьютерных моделей // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-i-validatsiya-kompyuternyh-modeley> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

9. Облачные технологии в компьютерном моделировании научных и инженерных задач // КиберЛенинка : [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblachnye-tehnologii-v-kompyuternom-modelirovanii-nauchnyh-i-inzhenernyh-zadach> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

10. 3D-моделирование в автомобильной промышленности // DigitalCraft3D : [сайт]. – URL: <https://digitalcraft3d.com/blog/3d-modelirovanie/3d-modelirovanie-v-avtomobilnoy-promyshlennosti/> (дата обращения: 09.02.2026). – Текст : электронный.

References

1. Digital transformation of Russian engineering in the context of the Fourth Industrial Revolution // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-mashinostroeniya-rossii-v-kontekste-chetvertoy-promyshlennoy-revolyutsii> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

2. Trends in the digital transformation of the global automotive industry // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-tsifrovoy-transformatsii-mirovogo-avtomobilestroeniya> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

3. Determination of energy-efficient modes of operation of the pneumatic system of an articulated electric bus by mathematical modeling // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-energoeffektivnyh-rezhimov-raboty-pnevmosistemy-sochlenennogo-elektrobusa-putem-matematicheskogo-modelirovaniya> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

4. Digital twins : characteristics, typology, development practices // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki>

harakteristiki-tipologiya-praktiki-razvitiya (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

5. Prospects of digital transformation of Russian engineering // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-tsifrovoy-transformatsii-rossiyskogo-mashinostroeniya> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

6. Morchkov, A. E. The relevance of using the latest tools and methods in testing active safety systems / A. E. Morchkov // Young Scientist. – 2020. – № 20 (310). – Pp. 140-142. – Text : electronic // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://moluch.ru/archive/310/70260> (accessed: 02/09/2026).

7. High-performance computing systems // WonderfulPCB : [website]. – URL: <https://www.wonderfulpcb.com/ru/blog/high-performance-computing-benefits-challenges-trends-industry/> (date of access: 02/09/2026). – Text : electronic.

8. Verification and validation of computer models // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/verifikatsiya-i-validatsiya-kompyuternyh-modeley> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

9. Cloud technologies in computer modeling of scientific and engineering tasks // CyberLeninka : [website]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oblachnye-tehnologii-v-kompyuternom-modelirovanii-nauchnyh-i-inzhenernyh-zadach> (date of request: 02/09/2026). – Text : electronic.

10. 3D modeling in the automotive industry // DigitalCraft3D : [website]. – URL: <https://digitalcraft3d.com/blog/3d-modelirovanie/3d-modelirovanie-v-avtomobilnoy-promyshlennosti/> (date of access: 02/09/2026). – Text : electronic.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОНИКИ

В.И. Сумин¹, А.С. Дубровин¹, А.С. Кравченко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной статье рассматривалась проблема управления запасами в виде поставки комплектующих, для технологического процесса при производстве электроники. Приведено описание разных стратегий управления запасами. Проведен системный анализ использования и классификации моделей управления запасами организаций при производстве электроники.

Ключевые слова: Принципы системного подхода, теория систем, теория очередей, теория вероятностей, теория математического моделирования, структурное программирование.

SYSTEM APPROACH TO MANAGING ORGANIZATION'S STOCK IN ELECTRONICS PRODUCTION

V.I. Sumin¹, A.S. Dubrovin¹, A.S. Kravchenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article discusses the problem of inventory management in the form of supplying components for the technological process in electronics production. It provides a description of various inventory management strategies. A systematic analysis of the use and classification of inventory management models in organizations involved in electronics production has been conducted.

Keywords: Principles of the systems approach, systems theory, queue theory, probability theory, mathematical modeling theory, and structured programming.

Введение

Для любой организации ее функционирование невозможно без использования запасов, которые делятся на товарные и производственные. Товарные запасы - произведенные промышленными предприятиями, а производственные -

находятся у сбытовых структур. Запасы также делятся на расходные, которые используются в технологических процессах и резервные, которые удовлетворяют потребности организации в запас через определенный момент времени [1,2]. Завышение количества запасов в организации замораживает финансы. Решение этой проблемы требует оптимизации процессов управления запасами (УЗ).

Структура модели УЗ при производстве электроники

К необходимости создания запасов при производстве электроники приводят следующие драйверы:

1. Доля рынка и конкурентоспособность: рыночные исследования; инфляционные ожидания; ожидаемая инфляция.
2. Случайные колебания запасов: период между поставками; количество запасов; длительность времени поставки.
3. Дискретность поставок запасов.

В некоторых случаях создание запасов не требуется: присутствуют расходы при хранении запаса; возникает уменьшение доходов при создании большого объема запасов для технологического процесса при производстве электроники; возникает необходимость поставки новых модернизированных комплектующих для технологического процесса при производстве электроники.

Алгоритм УЗ поставки комплектующих для технологического процесса при производстве электроники назовем стратегией управления запасами (СУЗ).

Любая СУЗ связана с объемами финансовых затрат при производстве электроники сбытчиков продукции. Оптимальная СУЗ основывается на теории оптимального УЗ (ОУЗ), которая базируется на оптимизации затрат процесса производства электроники.

Рассмотрим ОУЗ для 1 склада при условии, что случайные заявки на этот склад формируются непрерывно для одной номенклатуры. Если запасы исчерпаны, а заявки поступают, тогда это приведет к убыткам за счет штрафов. Если запасы на склад пополняются с любого иерархического склада, тогда это приводит к финансовым затратам. Следовательно, ОУЗ должно быть организовано так, чтобы финансовые затраты были оптимизированы относительно хранения, штрафа и поставки. Структурно задача ОУЗ должна учитывать следующие факторы: система поставки комплектующих; затраты; оптимизация на складе запасов; спрос на произведенную продукцию при производстве электроники; оптимизация стратегии ОУЗ.

Классификация моделей УЗ организаций при производстве электроники

Модели УЗ организаций при производстве электроники должны использовать следующие параметры [3, 4]:

- номенклатуру запасов;
- цели, которые необходимо ставить перед системой УЗ;
- статистические номенклатуры запасов используемой при УЗ;
- объем ограничений на номенклатуры УЗ;
- структура пополняемости УЗ с любого иерархического склада, чтобы не приводить к финансовым затратам;
- многообразие номенклатуры запасов;
- информационные параметры УЗ.

При использовании типовых решений УЗ будут проявляться следующие недостатки:

- оптимальная СУЗ и полностью оптимальное решение этой предметной проблемы не в полной мере определена;
- приводится приближенное решение этой предметной проблемы;
- предлагается другой алгоритм вычислительного процесса и т.д.

Существует 3 вида разработки системы УЗ.

1 вариант. Децентрализованный. В этом случае недостающие комплектующие могут быть поставлены с других складов.

2 вариант. Линейная система. Технологические процессы позволяют недостающие комплектующие получать из буферных запасов.

3 вариант. Недостающие комплектующие получают из складов иерархически более высокого уровня.

По характеристикам различают УЗ: однородные и многономенклатурные, статические и динамические, зависящие от спроса. По наполняемости УЗ могут быть: поставки по требованию; поставки с требуемым периодом времени; задержки с вероятностным периодом времени. Примем, что УЗ во время низкого спроса эффективней описывать на основе подхода как к системе массового обслуживания. В зависимости от особенностей функционирования УЗ должны быть определены следующие направления финансовых затрат: издержки хранения; стоимость поставки и суммарные штрафы [5, 6].

Параллельно, необходимо ввести ограничения: максимального объема; средней цены; количества комплектующих поставляемых в дискретный момент

времени. Учитывая ограничения возможно построить облегченную модель УЗ [7].

Заключение

Предложенный анализ функционирования УЗ позволит использовать широкий круг задач оптимального планирования СУЗ.

Список литературы

1. Стерлигова, А. Н. Управление запасами в цепях поставок : учеб. / А. Н. Стерлигова. – Москва : ИНФРА-М, 2026. – 430 с. – (Высшее образование). – Текст : электронный // ЭБС «Юрайт». – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2230671> (дата обращения: 12.02.2026). – ISBN 978-5-16-020472-7.
2. Сдвижков, О. А. Практикум по методам оптимизации : учеб. пособие / О. А. Сдвижков. – Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2022. – 200 с. – Текст : электронный // ЭБС «Юрайт». – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/1852206> (дата обращения: 12.02.2026). – ISBN 978-5-9558-0372-2.
3. Сумин, В. И. Система управления системами хранения данных в сложных силовых структурах / В. И. Сумин, Е. Д. Грачев, П. А. Шарыгин // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2024. – № 1. – С. 117-124. – EDN BRDUQM.
4. Сумин, В. И. Разработка сетевой модели целевых установок сложных организационных систем специального назначения / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, С. В. Родин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85. – EDN QIRWOK
5. Sumin, V. I. Optimization of Special-Purpose Information Systems Operation / V. I. Sumin, Yu. Yu. Gromov, V. M. Tyutyunnik // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2023. – Vol. 57, No. 3. – P. 135-139. – DOI 10.3103/s0005105523030044. – EDN NVRSCF
6. Mathematical Models for Determining the Time of Processing Requests on Servers of Special-Purpose Information Systems / V. I. Sumin, E. D. Grachev, Yu. Yu. Gromov, V. M. Tyutyunnik // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2023. – Vol. 57, No. 5. – P. 296-300. – DOI 10.3103/s0005105523050084. – EDN KZAWYQ.
7. Математические модели определения времени обработки запросов на серверах информационных систем специального назначения / Сумин В.И., Грачев Е.Д., Громов Ю.Ю., Тютюнник В.М. // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы / ВИНТИ РАН. – 2023 № 10. – С. 11-15.

References

1. Sterligova, A. N. Inventory management in supply chains : textbook / A. N. Sterligova. Moscow : INFRA-M, 2026. 430 p. (Higher education). – Text : electronic // EBS "Yurayt". – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2230671> (date of request: 12.02.2026). – ISBN 978-5-16-020472-7.
2. Sdvizhkov, O. A. Practicum on optimization methods : textbook. manual / O. A. Sdvizhkov. – Moscow : University textbook : INFRA-M, 2022. – 200 p. – Text : electronic // EBS "Yurayt". – URL: <https://znanium.ru/catalog>
3. Sumin, V. I. Data storage management system in complex law enforcement structures / V. I. Sumin, E. D. Grachev, P. A. Sharygin // Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia. – 2024. – No. 1. – pp. 117-124. – EDN BRDUQM.
4. Sumin, V. I. Development of a network model of target installations of complex organizational systems for special purposes / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, S. V. Rodin // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 79-87. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-77-85. – EDN QIRWOK
5. Sumin, V. I. Optimization of Special-Purpose Information Systems Operation / V. I. Sumin, Yu. Yu. Gromov, V. M. Tyutyunnik // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2023. – Vol. 57, No. 3. – P. 135-139. – DOI 10.3103/s0005105523030044. – EDN NVRSCF
6. Mathematical Models for Determining the Time of Processing Requests on Servers of Special-Purpose Information Systems / V. I. Sumin, E. D. Grachev, Yu. Yu. Gromov, V. M. Tyutyunnik // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2023. – Vol. 57, No. 5. – P. 296-300. – DOI 10.3103/s0005105523050084. – EDN KZAWYQ.
7. Mathematical models for determining the processing time of requests on servers of special-purpose information systems / Sumin V.I., Grachev E.D., Gromov Yu.Y., Tyutyunnik V.M. // Scientific and technical Information. Series 2: Information Processes and Systems / VINITI RAS, 2023, No. 10, pp. 11-15.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЗАЕМЩИКОВ

Ю.Е. Сумина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Оценка кредитоспособности заемщиков является ключевым элементом управления кредитным риском в банковской деятельности. От её качества зависят финансовая устойчивость кредитной организации, уровень просроченной задолженности и эффективность кредитного портфеля. В условиях цифровой трансформации банковского сектора применение информационных систем, ориентированных на автоматизированную оценку кредитоспособности, становится стратегическим приоритетом. Центральное место в таких системах занимают алгоритмы машинного обучения и статистического анализа, определяющие точность, скорость и надёжность кредитных решений. Традиционные методы, основанные на экспертных суждениях и упрощённых скоринговых таблицах, всё чаще уступают место интеллектуальным информационным системам, интегрирующим методы машинного обучения, анализ больших данных и автоматизированные процессы принятия решений.

В данной статье представлен систематический обзор подходов к оценке кредитоспособности, а также проведен анализ инструментов автоматизированной обработки данных для оценки кредитоспособности — от классических статистических методов до передовых решений на основе глубокого обучения и объяснимого искусственного интеллекта.

Ключевые слова: кредитоспособность, банковские методики, скоринг, кредитный риск, фундаментальный анализ, информационная система, машинное обучение, цифровая трансформация, алгоритмы оценки заемщиков.

ANALYSIS OF METHODS AND MODERN INFORMATION SOLUTIONS FOR ASSESSING CLIENT SOLVENCY

Y.E. Sumina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: Assessing customer creditworthiness is a key element of credit risk management in banking. Its quality determines a credit institution's financial stability, the level of overdue debt, and the effectiveness of its loan portfolio. In the context of the digital transformation of the banking sector, the use of information

systems focused on automated credit assessment is becoming a strategic priority. Machine learning and statistical analysis algorithms, which determine the accuracy, speed, and reliability of credit decisions, occupy a central place in such systems. Traditional methods based on expert judgment and simplified scorecards are increasingly giving way to intelligent information systems integrating machine learning, big data analysis, and automated decision-making processes.

This article presents a systematic review of approaches to credit assessment and an analysis of automated data processing tools for credit assessment – from classical statistical methods to advanced solutions based on deep learning and explainable artificial intelligence.

Keywords: solvency, banking methods, scoring, credit risk, fundamental analysis, information system, machine learning, digital transformation, borrower assessment algorithms

В условиях высокой конкуренции на финансовом рынке и возрастающей волатильности экономической среды банки вынуждены совершенствовать инструменты оценки надёжности заемщиков. Одним из ключевых понятий надёжности является кредитоспособность. Кредитоспособность в большинстве литературных источников определяют как способность клиента своевременно и в полном объёме исполнять обязательства по кредитному договору. Её оценка позволяет минимизировать вероятность дефолта, оптимизировать условия кредитования и обеспечить соответствие требованиям регулятора.

Исторически банки использовали субъективные, экспертные методы, основанные на личной оценке менеджера. Однако с ростом объёмов кредитования и усложнением клиентских профилей возникла необходимость в стандартизированных, объективных и воспроизводимых методиках. Сегодня банковские организации применяют многоуровневые подходы, сочетающие количественные и качественные критерии, статистические модели и регламентированные процедуры анализа.

Банковские методики оценки кредитоспособности можно условно разделить на три основные группы:

1. Экспертные (качественные) методики – основаны на субъективной оценке менеджера по заранее определённым критериям.
2. Количественные (статистические и скоринговые) методики – используют математические модели для расчёта вероятности дефолта.
3. Комбинированные (гибридные) методики – интегрируют качественные и количественные подходы в рамках единого процесса.

Выбор методики зависит от таких факторов как тип заемщика (физическое или юридическое лицо), сумма кредита, срок, обеспечение, а также внутренней политики банка и требований регулятора.

Одной из самых известных экспертных методик, применяемых в международной практике, особенно при кредитовании малого и среднего бизнеса, является методика «пять С». Она основана на оценке пяти ключевых аспектов: character (характер) – репутация, деловая этика, кредитная история заемщика; capacity (платёжеспособность) – способность генерировать денежные потоки для обслуживания долга; capital (капитал) – собственные средства заемщика, уровень его финансовой устойчивости; collateral (обеспечение) – наличие и ликвидность залога; conditions (условия) – макроэкономическая среда, отраслевые риски, цель кредита. Преимуществами данной методики являются гибкость, применимость к нестандартным случаям, возможность учёта нематериальных факторов, а из недостатков стоит отметить субъективность, зависимость от квалификации эксперта, отсутствие стандартизации.

Среди количественных методик зачастую используют скоринг и комплексный финансовый анализ деятельности заемщика на основании финансовой отчетности.

Скоринг – это автоматизированная количественная оценка кредитоспособности на основе статистических или машинно-обучаемых моделей. Среди инструментов скоринга различают: оценку по исходным данным заявки; прогноз поведения действующего клиента на основе истории взаимодействия с банком; оценку вероятности погашения просроченной задолженности.

В основном скоринг широко применяется в розничном сегменте – потребительские кредиты, карты, микрозаймы. К преимуществам скоринга можно отнести скорость, объективность, масштабируемость. При этом источниками данных о клиентах являются бюро кредитных историй (БКИ), внутренние базы банка, госреестры.

При оценке кредитоспособности юридических лиц банки используют методики фундаментального анализа, основанные на данных финансовой отчетности. Такой подход предполагает последовательный расчет ряда финансовых показателей деятельности: коэффициента текущей ликвидности ($>1,5-2$); коэффициента автономии (доля собственного капитала); рентабельности активов (ROA) и собственного капитала (ROE); долговой нагрузки (Debt/EBITDA). Отдельным этапом анализа является оценка денежных потоков (Cash Flow Analysis) – способности генерировать свободный денежный поток для обслуживания долга.

Ниже в таблице 1 представлен сравнительный анализ применяемых в банковском секторе методик оценки кредитоспособности заемщиков.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методик оценки кредитоспособности

Методика	Сфера применения	Преимущества	Ограничения
«Пять С»	МСБ, индивидуальное кредитование	Гибкость, учёт нематериальных факторов	Субъективность, низкая стандартизация
Скоринг	Розничное кредитование	Высокая скорость, эффективность	Зависимость от качества данных
Финансовый анализ	Корпоративное кредитование	Глубина анализа, прозрачность	Требуется достоверной отчётности
Рейтинговые шкалы (IRB)	Крупные банки, международные операции	Соответствие Базелю, точность резервирования	Сложность внедрения, высокие затраты
Балльные экспертные системы	Малые банки, региональные отделения	Простота, минимальные ИТ-требования	Низкая предсказательная способность

В российской практике, например, Центральный банк РФ в «Методических рекомендациях по оценке кредитных рисков» (письмо № 114-Т от 2020 г.) подчёркивает необходимость комбинированного подхода: использование как количественных, так и качественных методов, особенно при кредитовании заемщиков – юридических лиц.

Несмотря на разнообразие методик, банковский сектор сталкивается с рядом вызовов. К ним относятся: недостаток данных у новых клиентов, который требует использования альтернативных источников информации (поведенческие данные, транзакции, соцсети); экономическая нестабильность – снижает релевантность исторических данных, требует адаптивных моделей; регуляторное давление – банки обязаны документировать и обосновывать каждое решение, что ограничивает применение «чёрных ящиков»; цифровизация – стимулирует переход от ручных методик к интегрированным информационным системам, сочетающим скоринг, экспертные правила и мониторинг в реальном времени.

Как менялись банковские методики и к чему это привело

Итак, банковские методики оценки кредитоспособности прошли большой путь. Сначала были просто субъективные суждения, потом появились сложные алгоритмические системы. Но ни одна из существующих методик не стала универсальной. Эффективная оценка требует разного подхода в разных ситуациях. Например, для массового розничного сегмента лучше брать скоринг, для корпоративных клиентов – фундаментальный анализ финансовых коэффициентов, а для нестандартных случаев – экспертные методы.

В последние десятилетия мы видим переход от субъективных и ручных методов к автоматизированным, которые опираются на количественные модели. Однако экономика постоянно меняется, поведение потребителей усложняется, а источников данных становится всё больше. Поэтому нужны гибкие, масштабируемые и умные информационные системы.

Эволюция методов кредитного скоринга и что мы имеем сегодня

В двухтысячных годах, когда информационные технологии развивались, а большие данные (Big Data) накапливались, машинное обучение начало активно проникать в кредитный скоринг. Алгоритмы вроде случайного леса, градиентного бустинга и нейронных сетей показали себя лучше, чем классические статистические модели, по ключевым показателям качества.

Современные системы для оценки кредитоспособности используют широкий набор алгоритмов – и машинное обучение, и традиционную статистику. Какой именно инструмент выбрать? Это зависит от нескольких вещей: сколько у вас данных и насколько они качественные, нужна ли прозрачность решений, сколько времени можно тратить на обработку, и какие есть ограничения со стороны регуляторов. В банковской практике сложилось несколько самых распространённых и перспективных подходов.

Логистическая регрессия. Несмотря на простоту, этот метод до сих пор остаётся «золотым стандартом» кредитного скоринга. Почему его любят? Коэффициенты легко интерпретировать, он не склонен к переобучению на маленьких выборках, его просто проверять и аудировать. Но есть минус: модель предполагает линейную связь между признаками и вероятностью дефолта. А в жизни часто встречаются сложные нелинейные зависимости – тут логистическая регрессия уже не так хороша.

Деревья решений и ансамблевые методы. Случайный лес и градиентный бустинг заметно точнее предсказывают, чем логистическая регрессия. Эти модели широко используют и в финтехе, и в крупных банках – для разных сегментов заёмщиков, от массовых до премиальных.

Нейронные сети и глубокое обучение. Глубокие нейросети умеют находить хитрые паттерны в данных – например, временные зависимости или сложные структуры. Они могут проанализировать транзакции клиента за последний год и предсказать, будет ли он платить в будущем. Но у нейросетей есть и серьёзные минусы: они плохо объясняют свои решения, им нужно очень много данных и вычислительных ресурсов. Поэтому в классическом банковском скоринге их пока используют нечасто. А вот в альтернативном кредитовании, скажем, в мобильных приложениях для микрозаймов, они набирают популярность.

Гибридные и мета-алгоритмы. В последнее время растёт интерес к подходам, которые объединяют сильные стороны разных методов. Например, стеккинг (stacking): мета-модель учится на предсказаниях нескольких базовых моделей – логистической регрессии, нейросети и других. Так получается синергия. Такие схемы особенно полезны, когда экономическая ситуация нестабильна и нужны гибкость с адаптивностью.

Онлайн-обучение и адаптивные модели. Обычные модели переобучают раз в квартал или раз в полгода. Но когда экономика быстро меняется – инфляция, девальвация, санкции – возникает потребность в непрерывном обучении. Онлайн-модели могут корректировать прогнозы на лету.

Заключение

Современный набор алгоритмов для оценки кредитоспособности очень широк – от классической статистики до передовых решений с глубоким обучением и этичным ИИ. Выбор конкретного подхода зависит не только от технических характеристик, но и от стратегии самой кредитной организации. Нужен баланс между точностью, скоростью, прозрачностью и соблюдением требований регуляторов. А информационные системы, которые могут гибко комбинировать эти алгоритмы, дают серьёзное конкурентное преимущество на рынке.

В эпоху цифровой трансформации будущее – за интегрированными платформами. Они объединяют лучшие практики разных методик в едином процессе принятия решений. При этом важно сохранять баланс: автоматизация не должна убивать человеческий контроль, точность не должна идти в ущерб прозрачности, а инновации – в ущерб соблюдению норм. Именно такой разумный синтез и

обеспечит устойчивое и ответственное развитие кредитной деятельности в XXI веке.

Список литературы

1. Гиляровская, Л.Т. Анализ и оценка финансовой устойчивости коммерческих организаций / Л. Т. Гиляровская, А. В. Ендовицкая. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА. – 2017. – 159 с. – ISBN 978-5-238-01074-5.
2. Ендовицкий, Д.А. Анализ кредитоспособности организации и группы компаний : учеб. пособие / Д. А. Ендовицкий, К. В. Бахтин, Д. В. Ковтун. – Москва : КноРус, 2022. – ISBN 978-5-406-10833-8.
3. Бурмистрова, Н. А. Применение методов машинного обучения для оценки кредитоспособности клиентов в банковской сфере / Н. А. Бурмистрова, А. В. Смирнов // Финансы и кредит. – 2022. – №12 (1008). – С. 2154-2158.
4. Кириченко, Л. А. Информационные технологии и искусственный интеллект в цифровой трансформации банковского сектора / Л. А. Кириченко, И. А. Зайцев // Вестник Южного научного центра. – 2021. – Т. 17. – № 4. – С. 102–113.
5. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов / С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин, А. И. Заревич // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10–17.

References

1. Gilyarovskaya, L.T. Analysis and assessment of financial stability of commercial organizations / L. T. Gilyarovskaya, A. V. Endovitskaya. - Moscow: UNITY-DANA. - 2017. - 159 p. - ISBN 978-5-238-01074-5.
2. Endovitsky, D. A. Analysis of creditworthiness of an organization and a group of companies: a textbook / D. A. Endovitsky, K. V. Bakhtin, D. V. Kovtun. - Moscow: KnoRus. - 2022. - ISBN 978-5-406-10833-8.
3. Burmistrova, N. A. Application of machine learning methods to assess the creditworthiness of clients in the banking sector / N. A. Burmistrova, A. V. Smirnov // Finance and Credit. - 2022. - No. 12 (1008). – P. 2154-2158.
4. Kirichenko, L. A. Information technology and artificial intelligence in the digital transformation of the banking sector / L. A. Kirichenko, I. A. Zaitsev // Bulletin of the Southern Scientific Center. – 2021. – Vol. 17. – No. 4. – P. 102–113.
5. Development of the bank's information subsystem for issuing loans / S. A. Sazonova, V. F. Asminin, A. I. Zarevich // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17.

LOTSIA PDM PLUS В АО «ГСП ИНЖИНИРИНГ»: ВЫЗОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАРЕВШЕЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОЕКТНОЙ СРЕДЕ

С.О. Сыноров¹, А.И. Заревич¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается опыт эксплуатации информационной системы Lotsia PDM PLUS в одной из ведущих инжиниринговых компаний России – АО «ГСП Инжиниринг». Проведен анализ функциональных возможностей системы, ее роли в жизненном цикле проектирования сложных инфраструктурных объектов. Основное внимание уделено проблемам, связанным с моральным и техническим устареванием платформы, и возникающим вследствие этого рискам для безопасности, эффективности и интеграции с современным программным обеспечением.

Ключевые слова: Информационная система, PDM, инжиниринг, проектирование, Gasproektinzhiniring, Lotsia PDM PLUS, legacy-системы, модернизация ИС, документооборот.

LOTSIA PDM PLUS AT GSP ENGINEERING JSC: CHALLENGES OF OPERATING AN OUTDATED INFORMATION SYSTEM IN A MODERN DESIGN ENVIRONMENT

S.O. Synorov¹, A.I. Zarevich¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: The paper considers the experience of operating the Lotsia PDM PLUS information system in one of the leading engineering companies in Russia, JSC GSP Engineering. The functional capabilities of the system and its role in the life cycle of designing complex infrastructure facilities are analyzed. The main focus is on the problems associated with the moral and technical obsolescence of the platform, and the resulting risks to security, efficiency, and integration with modern software.

Keywords: Information system, PDM, engineering, design, Gasproektinzhiniring, Lotsia PDM PLUS, legacy systems, IP modernization, document management.

Современная проектная деятельность в области капитального строительства, особенно при реализации масштабных инфраструктурных объектов, немыслима без применения мощных информационных систем. Эти системы не только хранят данные, но и управляют сложнейшими бизнес-процессами, связывая в единое целое десятки отделов и сотни специалистов. Для компаний, являющихся генеральными проектировщиками, такая система становится кровеносной системой всего предприятия.

АО «ГСП Инжиниринг» (ранее АО «Газпроектинжиниринг») – дочернее общество ПАО «Газпром» и одна из ключевых инжиниринговых компаний в России. Именно ее силами были спроектированы такие флагманские объекты, как «Сила Сибири», «Турецкий поток», «Северный поток», заводы «Ямал СПГ» и «Балтийский СПГ». Успешная реализация проектов такого уровня сложности требует безупречной координации, что возлагает на корпоративную информационную систему высочайшие требования.

На протяжении более чем 20 лет центральной платформой, обеспечивающей управление инженерными данными и процессами в компании, является система Lotsia PDM PLUS. Данная статья ставит своей целью проанализировать текущее состояние системы, выделить ее сильные стороны, унаследованные от многолетней эксплуатации, и детально разобрать накапливающиеся проблемы, обусловленные ее возрастом.

АО «ГСП Инжиниринг» предоставляет полный спектр инжиниринговых услуг «под ключ» – от разработки концепции и проведения изысканий до авторского надзора за строительством. Компания специализируется на проектировании магистральных газопроводов, подземных хранилищ газа, мощностей по сжиганию природного газа и систем газоснабжения.

В такой деятельности производится колоссальный объем документации: технические задания, чертежи, расчеты, спецификации, отчеты по экспертизам. Каждый проект – это сложный пазл, где элементы, созданные разными отделами (архитекторами, конструкторами, технологами, электриками), должны идеально совмещаться. Например, отдел водоснабжения не может завершить проектирование трубопроводов без данных от отдела железобетонных конструкций о расположении и размерах отверстий в перекрытиях.

Именно Lotsia PDM PLUS является той средой, где этот «пазл» собирается. Она обеспечивает:

1. Централизованное хранение данных: все документы по объекту хранятся в едином защищенном репозитории.

2. Управление версиями: контроль версий чертежей и документов исключает работу с устаревшей информацией.

3. Организацию документооборота: система регламентирует процессы согласования и подписания документов, в том числе с использованием Электронной Цифровой Подписи (ЭЦП).

4. Междисциплинарное взаимодействие: через систему осуществляется формализованный обмен заданиями между отделами, что является краеугольным камнем комплексного проектирования.

Таким образом, Lotsia PDM PLUS является не просто хранилищем файлов, а костяком всего проектного производства.

Система Lotsia PDM PLUS была внедрена в организации на заре 2000-х годов и стала одним из первых в России масштабных решений в классе Product Data Management (PDM) для проектной деятельности. Ее архитектура, типичная для своего времени, скорее всего, основана на клиент-серверной модели с использованием реляционной СУБД и специализированного клиентского приложения.

Структура данных и организация информации

В рассматриваемой системе структура данных жёстко привязана к объектно-ориентированной модели проекта. Вся информация группируется вокруг объекта проектирования – например, «Компрессорная станция КС-1». Внутри такого объекта выстраивается иерархия, охватывающая техническое задание, организационно-распорядительную документацию, рабочие чертежи и задания на межведомственное взаимодействие.

Ключевые бизнес-процессы

В системе реализованы следующие базовые процессы:

1. **Постановка задач руководством.** Начальники отделов и руководители проектов выдают задания непосредственным исполнителям.

2. **Обмен заданиями между отделами.** Это формализованная процедура: отдел-инициатор создаёт для отдела-исполнителя задание, в котором описывается техническая необходимость (например, «предусмотреть отверстие 200×200 мм на оси А-Б/3–4»), указываются сроки и прилагаются необходимые эскизы. Исполнитель, в свою очередь, выполняет работу в своей САД-системе и возвращает в систему готовый результат.

3. **Сбор и согласование комплектов документации.** После завершения всех работ комплект документов по определённой специализации (марке)

собирается, проходит внутреннее согласование, подписывается электронной цифровой подписью (ЭЦП), после чего направляется в архив или на внешнюю экспертизу.

Достоинства системы

За долгие годы эксплуатации система была существенно адаптирована под конкретные нужды проектного института – и это её несомненное преимущество. Она органично вписана в специфические рабочие процессы и терминологию компании, что делает её удобным инструментом для повседневной деятельности.

Ключевые проблемы, обусловленные возрастом системы

Несмотря на глубокую интеграцию в бизнес-процессы, система постепенно стареет, и с каждым годом связанные с этим проблемы становятся всё острее. Анализ отзывов практикующих пользователей позволяет детализировать эти вызовы.

1. Устаревшая технологическая база и риски безопасности

а) Уязвимости. Система построена на технологиях и протоколах 25-летней давности, которые не учитывают современных киберугроз. Это создаёт потенциальные риски утечки конфиденциальной проектной документации, относящейся к коммерческой тайне и объектам критической информационной инфраструктуры (КИИ).

б) Совместимость с операционными системами. Современные версии ОС (Windows 10/11, Server 2019/2022) нередко конфликтуют с legacy-клиентами, что вынуждает администраторов прибегать к нестандартным и технически небезупречным решениям для обеспечения запуска.

2. Ограниченная и нестабильная интеграция с современным ПО

а) Проблемы с CAD-системами

Острее всего стоит вопрос совместимости с новыми версиями САПР – например, с NanoCad 2024. Трудности не ограничиваются отсутствием специальных плагинов. Даже то, что есть, работает нестабильно. Типичная ситуация: система пытается открыть DWG-файл в NanoCad, но процесс зависает – файл не открывается. Можно, конечно, запустить параллельный сеанс CAD-системы. Но это отнимает время и нерационально грузит рабочие станции.

б) Ошибки управления данными

Бывают критические сбои при самых обычных операциях. Например, пытаешься удалить файл из базы данных – а он физически удаляется из хранилища, но система выдаёт ошибку и продолжает показывать в интерфейсе «призрачную» запись. Чтобы это исправить, приходится создавать файл-заглушку с точно таким же именем и повторять удаление. Такое поведение говорит о низкой надёжности механизмов транзакций.

3. Архаичный интерфейс и низкое удобство использования

а) Сложность навигации

Интерфейс системы сильно отстаёт от современных стандартов. Главная беда – громоздкое иерархическое дерево файловой структуры с кучей вложенных уровней. Пробираться через него – то ещё занятие. Поиск нужных документов сильно замедляется, особенно у молодых специалистов. И ошибок становится больше.

б) Низкая интуитивность

Общий интерфейс системы, включая модуль выдачи заданий, пользователи называют устаревшим и неинтуитивным. Это мешает нормально освоиться и снижает общую производительность труда.

4. Проблемы производительности

Скорость отклика системы – слабая. Навигация и многие операции требуют лишних ручных действий. Всё вместе это заметно снижает продуктивность инженеров. А когда объёмы и сложность проектов растут, база данных и серверное оборудование могут не справляться с нагрузкой – в пиковые часы работа начинает тормозить.

Общая характеристика системы

Lotsia PDM PLUS в АО «ГСП Инжиниринг» – классический пример legacy-системы. Она надёжная, глубоко вросла в деятельность предприятия, но морально и технически устарела. Система сыграла важную историческую роль в цифровизации проектных процессов и до сих пор справляется с базовыми функциями.

Однако накопленные проблемы – с безопасностью, интеграцией, производительностью – создают серьёзные риски для бизнеса. Они ведут к прямым финансовым потерям из-за падения эффективности, увеличивают сроки проектирования и порождают угрозы для информационной безопасности.

Дальше эксплуатировать систему без кардинальной модернизации или перехода на современную PLM/PDM-платформу становится всё дороже и рискованнее. Успех проектного производства в «ГСП Инжиниринг» напрямую зависит от того, примет ли компания стратегическое решение об обновлении своего цифрового ядра. При этом обязательно нужно учесть: беспшовная интеграция с современными САД-системами, надёжные механизмы безопасности и удобство для конечных пользователей – инженеров-проектировщиков.

Список литературы

1. Грибов, В.Д. Экономика организации (предприятия) : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Д. Грибов, В.П. Грузинов, В.А. Кузьменко. – Москва : Кнорус, 2021. – 408 с.
2. Интеграция данных жизненного цикла для технологических установок, включая добычу и переработку нефти и газа : дата ведения 2003.12.01. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 110 с.
3. Информация о проектах АО «ГСП Инжиниринг» на отраслевых порталах. – URL: <http://www.minenergo.gov.ru> (дата обращения: 03.10.2025).
4. Калинин, М. А. Миграция с legacy-систем как стратегическая задача цифровой трансформации промышленных предприятий / М. А. Калинин // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – № 3. – С. 45-52.
5. Официальный сайт ПАО «Газпром». – URL: <http://www.gazprom.ru> (дата обращения: 03.10.2025).
6. Петренко, А. С. Управление рисками информационной безопасности при эксплуатации legacy-систем / А. С. Петренко // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 4. – С. 23-31.
7. Тарасов, И. В. Цифровой двойник в проектировании объектов газотранспортной системы / И.В. Тарасов, С.П. Орлов // Газовая промышленность. – 2023. – № 1 (800). – С. 94-101.
8. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" : издание официальное : дата введения 2017.12.07. – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/zakony/federalnyj-zakon-ot-26-iyulya-2017-g-n-187-fz> (дата обращения 03.10.2025)

9. Формирование ИКТ-компетентности студентов специальности «Информатика» / А. В. Полуэктов // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2009. – № 3 (3). – С. 8–11. – EDN SAXGJX.

References

1. Gribov, V.D. Economics of an organization (enterprise) : a textbook for students. institutions of sred. Prof. education / V.D. Gribov, V.P. Gruzinov, V.A. Kuzmenko. – Moscow : Knorus Publ., 2021. – 408 p.

2. Integration of life cycle data for technological installations, including oil and gas production and processing : date of maintenance 2003.12.01. – Moscow : Standartinform, 2020. – 110 p.

3. Information about GSP Engineering JSC's projects on industry portals. – URL: <http://www.minenergo.gov.ru> (date of request: 03.10.2025).

4. Kalinin, M. A. Migration from legacy systems as a strategic task of digital transformation of industrial enterprises / M. A. Kalinin // Information technologies in design and production. – 2022. – No. 3. – pp. 45-52.

5. The official website of PJSC Gazprom. – URL: <http://www.gazprom.ru> (date of reference: 03.10.2025).

6. Petrenko, A. S. Information security risk management in the operation of legacy systems / A. S. Petrenko // Cybersecurity issues. - 2021. – No. 4. – pp. 23-31.

7. Tarasov, I. V. Digital twin in the design of gas transportation system facilities / I.V. Tarasov, S.P. Orlov // Gas industry. – 2023. – № 1 (800). – Pp. 94-101.

8. Federal Law No. 187-FZ dated July 26, 2017 "On the Security of the Critical Information Infrastructure of the Russian Federation" : official publication : date of introduction 2017.12.07. – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/zakony/federalnyj-zakon-ot-26-iyulya-2017-g-n-187-fz> (accessed 03.10.2025)

9. Formation of ICT competence of students majoring in Computer Science / A. V. Poluektov // Information and communication technologies in pedagogical education. – 2009. – No. 3 (3). – P. 8–11. – EDN SAXGJX.

КОНЦЕПЦИЯ ПОЭТАПНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КЛАССА PDM НА ПРИМЕРЕ LOTSIA PDM PLUS В АО «ГСП ИНЖИНИРИНГ»

С.О. Сыноров¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема модернизации устаревшей, но критически важной информационной системы управления инженерными данными (PDM) ввиду значительного объёма накопленной информации и высоких требований безопасности. На примере системы Lotsia PDM PLUS, эксплуатируемой в АО «ГСП Инжиниринг», предлагается трехэтапная концепция модернизации. Ключевыми элементами концепции являются: создание API-шлюза для безопасной интеграции, обновление имеющегося или разработка нового современного веб-интерфейса, а также стабилизация взаимодействия с внешним программным обеспечением. Подход позволяет значительно повысить безопасность, удобство использования и функциональность системы без рисков, связанных с полной миграцией данных.

Ключевые слова: Модернизация информационных систем, PDM, API-шлюз, реинжиниринг интерфейса, безопасность, информационные системы, Gasproektinzhiniring.

THE CONCEPT OF PHASED MODERNIZATION OF LEGACY-CLASS PDM SYSTEM USING THE EXAMPLE OF LOTSIA PDM PLUS IN JSC GSP ENGINEERING

S.O. Synorov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: The article discusses the problem of upgrading an outdated but critically important engineering data management information system (PDM) in conditions where it cannot be completely replaced due to the huge amount of accumulated data and security requirements. Using the example of the Lotsia PDM PLUS system operated by GSP Engineering JSC, a three-stage concept of phased modernization is proposed. The key elements of the concept are: creating an API gateway for secure integration, developing a modern web interface, and stabilizing interaction with external applications.

This approach significantly improves the security, usability, and functionality of the system without the risks associated with full data migration.

Keywords: Legacy systems modernization, PDM, API gateway, interface reengineering, security, information systems, Gasproektinzhiniring.

В ходе работы над предыдущим исследованием была проанализирована проблематика эксплуатации информационной системы Lotsia PDM PLUS в АО «ГСП Инжиниринг». Были выявлены серьезные риски, связанные с устаревшими протоколами безопасности, неудобным пользовательским интерфейсом и нестабильной интеграцией с современным программным обеспечением. Классическое решение – полная замена системы – в данном случае неприменимо в силу колоссального объема накопленных за десятилетия данных, глубокой интеграции системы в бизнес-процессы и строгих требований информационной безопасности, обусловленных статусом компании.

В данной статье мы предлагаем пошаговую концепцию модернизации, основанную на принципах «строительства нового фасада вокруг старого, но прочного фундамента». Цель – не заменить ядро системы, а изолировать пользователей и внешние системы от его архаичных компонентов, создав современный, безопасный и, что немаловажно, удобный продукт.

Как будем модернизировать Lotsia PDM PLUS – три шага с измеримой выгодой.

Предлагаем делать не всё сразу, а поэтапно. Три последовательных шага. На каждом этапе будет результат, который можно пощупать и который принесёт пользу бизнесу. Плюс каждый шаг создаёт базу для следующего.

Первый этап – делаем защищённый шлюз и убираем опасные внешние сервисы

Зачем это нужно. Чтобы система стала безопаснее хотя бы на базовом уровне. Для этого надо ликвидировать небезопасные каналы, через которые система общается с внешним миром.

Что конкретно делаем

Разрабатываем API-шлюз. Берём Java или C# – технологии надёжные, зрелые. Пишем сервер, который через стандартные драйверы ODBC/JDBC будет подключаться к базам Oracle. На первом этапе шлюз умеет только читать и писать данные – ровно то, что нужно для выдачи и выполнения заданий.

Переводим обмен заданиями внутрь. Делаем простое внутреннее веб-приложение для передачи заданий. Оно работает только через наш API-шлюз. Тем самым заменяем небезопасный внешний ресурс. Все данные – и файлы, и метаданные – храним внутри защищённого периметра компании.

Внедряем корпоративную аутентификацию. Подключаем шлюз к Active Directory (или к чему там у вас принято).

Какой результат. Процесс обмена между отделами становится безопаснее, им можно управлять, и он больше не зависит от внешних поставщиков. И появляется техническая основа для всех следующих улучшений.

Второй этап – делаем современный веб-интерфейс для главных функций

Зачем. Чтобы сотрудники работали быстрее. Интерфейс должен быть удобным, понятным и быстрым.

Что делаем

Расширяем API-шлюз. Добавляем методы для работы с основными сущностями системы: проекты, документы, папки, история версий.

Создаём веб-интерфейс. Пишем простое и удобное приложение на React или Vue.js. Какие фишки должны быть обязательно.

- Расширенный поиск: по метаданным, по содержимому, по тегам – а не только по дереву папок.

- Персонализируемые панели: каждый видит часто используемые документы и задачи.

- Упрощённая навигация: вместо сложного дерева – плоские списки с фильтрами.

Переходим постепенно. Внедряем веб-интерфейс параллельно со старым клиентом. Начинаем с самых нужных операций – поиск, просмотр, выдача простых заданий.

Какой результат. Сотрудники тратят меньше времени на навигацию и рутину. Новые люди быстрее адаптируются.

Что в итоге предлагается

Представленная концепция модернизации Lotsia PDM PLUS – это взвешенный подход. Для таких предприятий, как АО «ГСП Инжиниринг», он решает сложные задачи без лишнего риска. Вкладываем усилия туда, где самые большие проблемы с безопасностью, а функциональность наращиваем постепенно.

Ключевые плюсы этого подхода

- Меньше рисков. Не лезем в ядро работающей системы – значит, не устраиваем сбой.

- Безопасность соблюдается. Всё взаимодействие выводится внутрь, под контроль.

- Реально сделать. Можно силами своих специалистов плюс привлечь внешних подрядчиков под конкретные задачи.

Результат виден. Каждый этап даёт конкретные улучшения – и начальство видит, и обычные пользователи.

Таким образом эта работа вполне подходит как основа для технического задания на модернизацию. И может стать фундаментом для дальнейших, более детальных исследований – как научных, так и практических – по реинжинирингу информационных систем в российской промышленности.

Список литературы

1. Воронов А.А. Проблемы миграции с legacy-систем в условиях импортозамещения // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2022. – № 94. – С. 45-55.

2. Калинин М.А. Миграция с legacy-систем как стратегическая задача цифровой трансформации промышленных предприятий // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2022. – № 3. – С. 45-52.

3. Ньюмен С. Создание микросервисов. – Москва : Диалектика, 2021. – 288 с.

4. Петренко А.С. Управление рисками информационной безопасности при эксплуатации legacy-систем // Вопросы кибербезопасности. – 2021. – № 4 (48). – С. 23-31.

5. Ричардс М. Архитектура корпоративных программных приложений. – Москва : Питер, 2020. – 352 с.

6. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. – Москва : Питер, 2020. – 1120 с.

7. Фаулер М. Рефакторинг: улучшение проекта существующего кода. – Москва : Диалектика, 2019. – 448 с.

8. Фаулер М. Стратегии рефакторинга. – Москва : Вильямс, 2019. – 429 с.

9. Microsoft REST API Guidelines. URL: <https://github.com/microsoft/api-guidelines/blob/vNext/Guidelines.md> (дата обращения: 03.10.2025).

10. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. – O'Reilly Media, 2015. – 280 p.
11. Oracle Database Concepts. URL: <https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/21/cncpt/index.html> (дата обращения: 03.10.2025).
12. Richards M. Microservices vs. Service-Oriented Architecture. – O'Reilly Media, 2016. – 55 p.
13. Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В. [и др.]. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2025. – № 3. – С. 19-28.
14. Шеховцов Д.В., Плотников А.М., Зольников К.В., Заревич А.И. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79-86.
15. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора / А. И. Заревич, Е. В. Вегнер, И. И. Винтизенко // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78–82.
16. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27–40.

References

1. Voronov, A. A. Problems of migration from outdated systems in the context of import substitution [Text] / A. A. Voronov // Open information and computer integrated technologies. – 2022. – No. 94. – pp. 45-55.
2. Kalinin, M. A. Migration from outdated systems as a strategic task of digital transformation of industrial enterprises [Text] / M. A. Kalinin // Information technologies in design and production. – 2022. – No. 3. – pp. 45-52.
3. Newman, S. Creation of microservices / S. Newman. Moscow : Dialektika Publ., 2021. 288 p.
4. Petrenko, A. S. Management of intellectual property markets by the legacy system / A. S. Petrenko // Cyberspace issues. – 2021 . – No. 4 (48). – pp. 23-31.
5. Richards, M. Architecture of corporate software applications / M. Richards. – Moscow : Peter, 2020. – 352 p.

6. Tanenbaum, E. Modern operating systems / E. Tanenbaum, H. Bos. – Moscow : Peter, 2020. – 1120 p.
7. Fowler, M. Refactoring: improving the design of existing code / M. Fowler. Moscow : Dialektika Publ., 2019. 448 p.
8. Fowler, M. Refactoring Strategies / M. Fowler. Moscow : Williams, 2019. 429 p.
9. Microsoft recommendations on REST API URLs: <https://github.com/microsoft/api-guidelines/blob/vNext/Guidelines.md> (date of access: 03.10.2025).
10. Newman, S. Building microservices: designing fine-grained systems / S. Newman. – O'Reilly Media, 2015. 280 p.
11. Oracle Database Concepts – URL: <https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/21/cncpt/index.html> (accessed: 03.10.2025).
12. Richards, M. Microservices vs. Service-oriented architecture / M. Richards. – O'Reilly Media, 2016. – 55 p.
13. Poluektov A.V., Zarevich A.I., Makarenko F.V. [et al.]. Transformations of the elements of the design levels taking into account the radiation effect // Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment. 2025. No. 3. pp. 19-28.
14. Shekhovtsov D.V., Plotnikov A.M., Zolnikov K.V., Zarevich A.I. RTL model development technology for product description in the development of a CAD software and analytical complex // Modeling of systems and processes. - 2023. – Vol. 16, No. 3. – pp. 79-86.
15. Automated complex for diagnostics of pulses of a relativistic microwave generator / A. I. Zarevich, E. V. Wegner, I. I. Vintizenko // Instruments and techniques of experiment. - 2004. – No. 3. – pp. 78-82.
16. V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun, Research of ways to protect information from leakage through acoustic and vibroacoustic channels // Modeling of systems and processes. - 2025. – Vol. 18, No. 2. – pp. 27-40.

LOW-CODE СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ ПОЛИТИК БЕЗОПАСНОСТИ В КОНВЕЙЕРЕ ПОСТАВКИ ИНФРАСТРУКТУРЫ «КАК КОД» (IaC)

С.С. Тарлыков¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема формализации и автоматизации проектирования политик безопасности в инфраструктуре «как код» (Infrastructure as Code, IaC) в условиях внедрения DevSecOps-подхода. Проанализированы ограничения существующих инструментов статического анализа, ориентированных на программную реализацию политик (Policy-as-Code). Предложена архитектура low-code среды визуального проектирования правил безопасности, интегрированной в систему IT-инвентаризации образовательной организации. Разработана формальная графовая модель политики, алгоритм трансляции визуальной спецификации в абстрактное синтаксическое дерево и метод генерации исполняемых правил для сканеров Checkov и Terrascan. Проведён экспериментальный анализ, подтверждающий сокращение времени разработки политик на 48–56 % при сохранении полноты контроля. Полученные результаты обосновывают целесообразность применения low-code инструментов в контуре DevSecOps.

Ключевые слова: DevSecOps, Infrastructure as Code, Policy-as-Code, формальная модель, статический анализ, автоматизация безопасности.

LOW-CODE ENVIRONMENT FOR DESIGNING AND TESTING SECURITY POLICIES IN INFRASTRUCTURE-AS-CODE DELIVERY PIPELINES

S.S. Tarlykov¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper addresses the formalization and automation of security policy design within Infrastructure as Code under the DevSecOps paradigm. Limitations of existing Policy-as-Code tools are analyzed. A low-code visual environment integrated into an IT inventory system is proposed.

A graph-based formal model and transformation algorithm for generating executable rules are developed. Experimental results confirm a 48–56% reduction in policy development time while preserving control completeness.

Keywords: DevSecOps, Infrastructure as Code, formal model, static analysis, security automation.

Введение

В работах [5, 6] отмечается, что успешная интеграция безопасности в DevOps-процессы требует автоматизации и минимизации ручного труда. В этой связи возникает задача разработки визуального инструмента проектирования политик, позволяющего формировать правила в графической форме с последующей автоматической генерацией исполняемого кода.

Формальная постановка задачи

Пусть множество ресурсов инфраструктуры определяется как

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\},$$

где каждый ресурс r_i характеризуется набором атрибутов

$$A_i = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}.$$

Политика безопасности определяется как отображение

$$P : R \rightarrow \{0,1\},$$

где значение 1 соответствует корректной конфигурации ресурса.

Каждая политика представляется в виде совокупности логических ограничений

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\},$$

где

$$c_j = f(a_x, \text{operator}, \text{value}).$$

Графовая модель политики задаётся ориентированным графом

$$G = (V, E),$$

где вершины V соответствуют элементарным ограничениям, а рёбра E отражают логические операции конъюнкции и дизъюнкции.

Задача трансляции формулируется как отображение

$$F: G \rightarrow \text{AST} \rightarrow S,$$

где AST – абстрактное синтаксическое дерево, S – код правила конкретного сканера.

Архитектура системы

Архитектурная схема интеграции low-code среды в CI/CD представлена на рисунке 1.

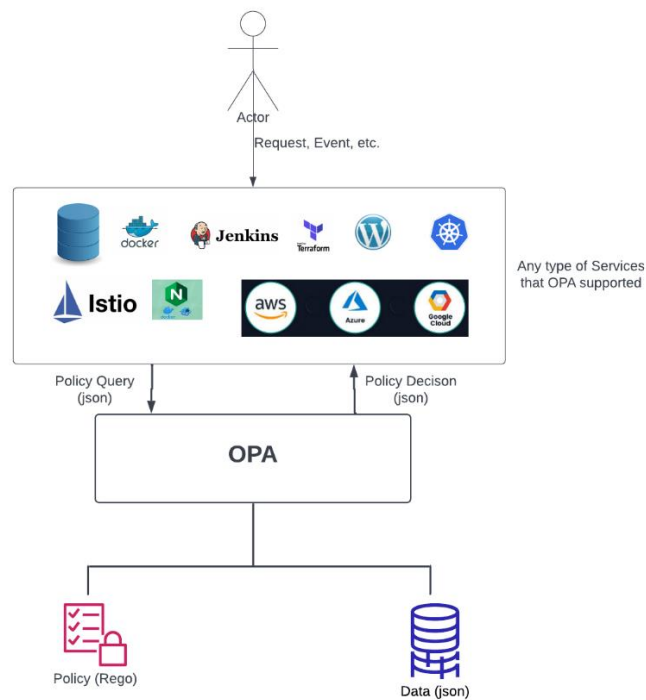


Рисунок 1 – Архитектура интеграции визуальной среды проектирования политик в DevSecOps-конвейер

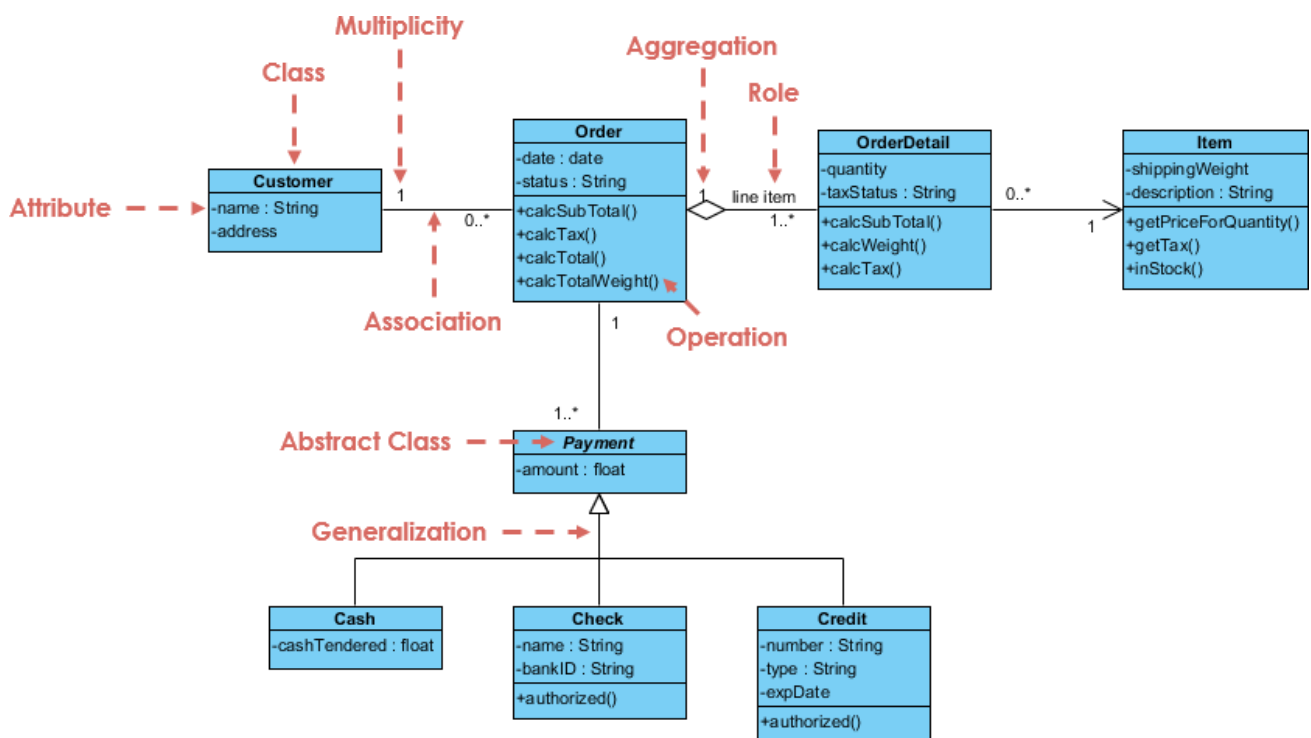


Рисунок 2 – Диаграмма компонентов и последовательности выполнения проверки

Система включает модуль визуального проектирования, преобразователь графовой модели в AST и генератор правил. Интеграция осуществляется на этапе pre-deploy проверки.

UML-модель компонентов и последовательности проверки представлена на рисунке 2.

Алгоритм трансляции

Преобразование графовой модели осуществляется в три этапа: нормализация логических связей, построение AST и генерация целевого кода. Сложность алгоритма определяется выражением

$$T(n) = O(|V| + |E|).$$

Для предотвращения экспоненциального роста при вложенных дизъюнкциях используется нормализация в конъюнктивную нормальную форму, что соответствует рекомендациям теории компиляции [7].

Экспериментальная часть

Эксперимент проводился на наборе из 50 Terraform-шаблонов университетской инфраструктуры. Измерялось время разработки политик и время выполнения проверки в CI/CD.

Таблица 1 – Сравнение времени разработки политик

Метод	Среднее время (мин)	Стандартное отклонение
Ручная проверка	94	12
Написание правил	61	9
Low-code среда	29	6

Снижение времени составило 52 % относительно скриптового подхода.

Таблица 2 – Зависимость времени проверки от количества правил

Количество правил	Время проверки (с)
5	3.2
10	5.9
20	11.4
40	22.1

Коэффициент корреляции $r = 0,98$, что подтверждает линейный характер зависимости, согласующийся с результатами исследований масштабируемости статического анализа [2].

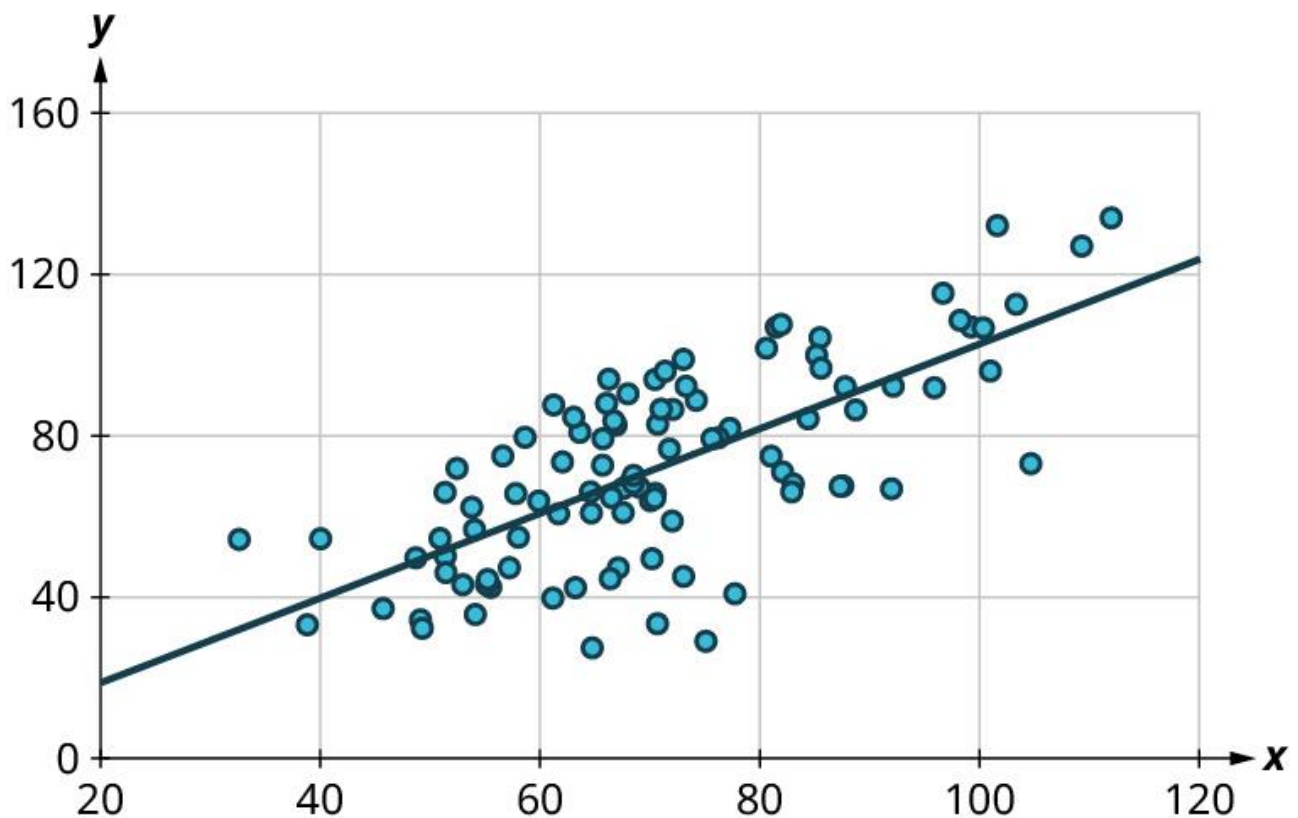


Рисунок 3 – Графическая интерпретация зависимости времени проверки от числа правил

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что визуальное проектирование политик не снижает полноты проверки и при этом существенно сокращает временные затраты. Интеграция в систему ИТ-инвентаризации обеспечивает централизованный контроль и аудит соответствия требованиям безопасности. Предложенный подход соответствует концепции автоматизированного обеспечения безопасности в DevSecOps-среде [1, 5].

Заключение

Разработана формальная модель и архитектура low-code среды проектирования политик безопасности для инфраструктуры «как код». Предложен алгоритм трансляции визуальной спецификации в исполняемые правила статического анализа. Экспериментально подтверждено сокращение времени разработки политик более чем на 50 % при линейной масштабируемости проверки. Результаты подтверждают перспективность интеграции low-code инструментов в процессы DevSecOps образовательных организаций.

Список литературы

1. Сумин, В. И. Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур / В. И. Сумин, А. С. Дубровин, И. С. Кущева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83. – EDN ISTAML.
2. Проскуряков, А. А. Проектирование Low-code среды разработки смарт-контрактов / А. А. Проскуряков // Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности : сборник статей Всероссийской научно-технической конференции, Таганрог, 10–15 апреля 2023 года. – Таганрог: Южный федеральный университет, 2023. – С. 251-253. – EDN VGAGTZ.
3. Полякова, А. В. Технологические подходы к внедрению геймификации в образовательный процесс / А. В. Полякова // Человеческий капитал. – 2025. – № 5(197). – С. 136-144. – DOI 10.25629/НС.2025.05.13. – EDN UKXNNY.
4. Гурьева, Т. Н. Проектирование и разработка программного робота для автоматизации процессов закупок и управления запасами материалов / Т. Н. Гурьева, Е. А. Кускунакова // Современные наукоемкие технологии. – 2025. – № 11. – С. 23-29. – DOI 10.17513/snt.40562. – EDN GOFWUU.
5. Умаров, С. З. Модель обращения лекарственных препаратов на базе отечественной аналитической платформы Loginom / С. З. Умаров, Р. А. Голубенко, А. А. Хорунжая // Медико-фармацевтический журнал Пульс. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 161-167. – DOI 10.26787/nydha-2686-6838-2024-26-5-161-168. – EDN CPEVNP.
6. Богданов, В. С. Проактивный мониторинг выполнения политики безопасности в компьютерных сетях / В. С. Богданов, И. В. Котенко // Защита информации. Инсайд. – 2007. – № 3(15). – С. 42-47. – EDN TRKKWV.
7. Корякин, В. Ю. Тестирование защиты инфраструктуры gro на базе windows server: анализ уязвимостей и методов обхода групповых политик / В. Ю. Корякин, Э. В. Тищенко // Парадигма. – 2025. – № 5-5. – С. 227-237. – EDN OYWKYK.

References

1. Sumin, V. I. Features of the selection of members of the expert group for the analysis of the functioning of a complex organizational system of law enforcement agencies / V. I. Sumin, A. S. Dubrovin, I. S. Kushcheva // Modeling of systems and

processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83. – EDN ISTAML.

2. Proskuryakov, A. A. Designing a Low-code smart contract development environment / A. A. Proskuryakov // Fundamental and applied aspects of computer technology and information security : Collection of articles of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Taganrog, April 10-15, 2023. – Taganrog: Southern Federal University, 2023. – pp. 251-253. – EDN VGAGTZ.

3. Polyakova, A.V. Technological approaches to the introduction of gamification in the educational process / A.V. Polyakova // Human capital. – 2025. – № 5(197). – Pp. 136-144. – DOI 10.25629/HC.2025.05.13. – EDN UKXNNY.

4. Guryeva, T. N. Design and development of a software robot for automating procurement processes and material inventory management / T. N. Guryeva, E. A. Kuskunakova // Modern high-tech technologies. – 2025. – No. 11. – pp. 23-29. – DOI 10.17513/snt.40562. – EDN GOFWUU.

5. Umarov, S. Z. A model of drug circulation based on the domestic Loginom analytical platform / S. Z. Umarov, R. A. Golubenko, A. A. Khorunzhaya // Medical and pharmaceutical journal Pulse. – 2024. – Vol. 26, No. 5. – pp. 161-167. – DOI 10.26787/nydha-2686-6838-2024-26-5-161-168. – EDN CPEVNP.

6. Bogdanov, V. S. Proactive monitoring of the implementation of security policy in computer networks / V. S. Bogdanov, I. V. Kotenko // Information protection. Inside. – 2007. – № 3(15). – Pp. 42-47. – EDN TRKKWV.

7. Koryakin, V. Y. Windows server-based gpo infrastructure protection testing: vulnerability analysis and group policy circumvention methods / V. Y. Koryakin, E. V. Tishchenko // Paradigm. – 2025. – No. 5-5. – pp. 227-237. – EDN OYWKYK.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЕРИФИКАЦИИ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ТРАКТОВ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ UVM-МЕТОДОЛОГИИ

С.С. Тарлыков¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается применение методологии UVM-MS (Universal Verification Methodology for Mixed-Signal) для автоматизации верификации аналого-цифровых трактов в современных системах-на-кристалле (СнК). Обосновывается актуальность перехода от устаревших методов к стандартизированному подходу на фоне роста сложности гетерогенных чипов. На примере верификации 12-битного АЦП последовательного приближения (SAR ADC) с SPI-интерфейсом подробно описана архитектура тестового окружения, включая ключевые компоненты стандарта: MS Bridge, эталонную модель и анализатор (scoreboard). Представлены результаты применения методологии, демонстрирующие значительное повышение функционального покрытия, сокращение времени отладки и обеспечение повторного использования верификационных компонентов. Делается вывод о стратегической важности внедрения UVM-MS для повышения качества и снижения рисков при разработке смешанных СнК.

Ключевые слова: UVM-MS, верификация смешанных сигналов, система-на-кристалле (СнК), АЦП, автоматизация, функциональное покрытие, SystemVerilog, эталонная модель, повторное использование, MS Bridge.

AUTOMATION OF VERIFICATION OF ANALOG-TO-DIGITAL PATHS OF ON-CHIP SYSTEMS USING UVM METHODOLOGY

S.I. Tarlykov¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the application of the UVM-MS (Universal Verification Methodology for Mixed-Signal) methodology for automating the verification of analog-digital paths in modern Systems-on-Chip (SoCs). The relevance of transitioning from outdated methods to a standardized approach is justified against the backdrop of increasing complexity in heterogeneous chips.

Using the verification of a 12-bit Successive Approximation Register ADC (SAR ADC) with an SPI interface as an example, the architecture of the testbench is described in detail, including key components of the standard: the MS Bridge, the reference model, and the scoreboard. The results of applying the methodology are presented, demonstrating a significant increase in functional coverage, a reduction in debug time, and the enablement of reusable verification components. The conclusion highlights the strategic importance of adopting UVM-MS to improve quality and reduce risks in the development of mixed-signal SoCs.

Keywords: UVM-MS, mixed-signal verification, System-on-Chip (SoC), ADC, automation, functional coverage, SystemVerilog, reference model, reuse, MS Bridge.

Современные системы-на-кристалле представляют собой гетерогенные комплексы, объединяющие десятки вычислительных ядер, специализированные ускорители, блоки памяти и критически важные аналого-цифровые интерфейсы [6]. Последние, включая высокоскоростные АЦП/ЦАП, цепи питания и тактирования, обеспечивают взаимодействие цифрового ядра чипа с внешним аналоговым миром, и их корректность определяет работоспособность всего устройства [2]. В то время как верификация чисто цифровых блоков благодаря методологии UVM достигла высокой степени зрелости и автоматизации [1, 5], проверка смешанных трактов долгое время оставалась «узким местом» [2, 3].

Актуальность проблемы обусловлена растущей сложностью и ответственностью аналоговых функций в СнК. Цена ошибки, обнаруженной после изготовления кристалла, катастрофически высока, а этап верификации в среднем занимает до 45-50% всего времени разработки [1, 6]. Существующие подходы – от сквозного SPICE-моделирования до co-simulation – страдают от непомерно низкой производительности, сложности повторного использования тестовых окружений и отсутствия систематизированных методик оценки покрытия [2, 3]. В индустрии назрела потребность в стандартизированном решении, которое перенесло бы преимущества объектно-ориентированной, транзакционной верификации в область смешанных сигналов.

Ответом на этот вызов стало создание рабочей группой Accellera Universal Verification Methodology for Mixed-Signal (UVM-MS) 1.0 – единого стандарта, расширяющего принципы UVM для верификации аналого-цифровых (AMS) и цифро-аналоговых (DMS) проектов [4, 7]. Этот стандарт, официально выпущенный и доступный для бесплатного скачивания, задаёт архитектурные паттерны и предоставляет библиотеки классов для построения эффективных тестовых сред [7].

Цифровой интерфейс управления. SPI (Serial Peripheral Interface) для конфигурирования режимов работы (коэффициент усиления PGA, опорное напряжение, запуск преобразования).

Аналоговый интерфейс: входной дифференциальный сигнал с заданным диапазоном напряжений.

Цифровой выход: параллельная шина данных и сигналы готовности.

Входные воздействия на систему включают:

1. Аналоговый стимул $V_{in}(t)$ (синусоида, ступенька, линейно нарастающий сигнал).

2. Поток цифровых транзакций по SPI для динамического изменения конфигурации АЦП.

3. Тактовые сигналы и сигнал сброса.

Выходные параметры и целевые метрики:

1. Последовательность цифровых кодов $D_{out}[N:0]$ на выходе АЦП.

2. Функциональные метрики, вычисляемые на основе анализа выходных кодов:

Интегральная (INL) и дифференциальная (DNL) нелинейность.

Эффективное число разрядов (ENOB), отношение сигнал/шум и нелинейных искажений (SNDR).

Главная цель верификации – доказать, что для любого допустимого сочетания цифровой конфигурации и аналогового входного сигнала выходной код и все производные метрики соответствуют спецификации. Тестовая среда должна быть полностью автоматизирована, поддерживать рандомизированную генерацию тестовых сценариев и обеспечивать количественную оценку полноты проверки через функциональное покрытие.

Среда должна быть реализована на SystemVerilog и совместима с основным цифровым потоком верификации SoC.

Должна обеспечиваться возможность взаимодействия с аналоговыми моделями различной степени абстракции (поведенческие на Verilog-

Для реализации самопроверки (self-checking) в тестовом окружении используется эталонная модель (Reference Model, "Golden Model") [5]. Её задача – предсказать ожидаемый цифровой код для подаваемого аналогового воздействия с учётом текущей конфигурации АЦП. Модель реализуется на SystemVerilog с использованием типа ``real` и может описываться, например, идеализированной передаточной функцией:

$$D_{expected} = \text{floor}\left(\frac{V_{in} * Gain}{V_{ref}} * (2^N - 1)\right) \quad (1)$$

где N – разрядность АЦП, $Gain$ – программно настраиваемый коэффициент усиления, V_{ref} – опорное напряжение.

Более сложные модели могут включать неидеальности: добавление шума, нелинейность, моделирование задержек. Для динамического анализа используется быстрое преобразование Фурье (БПФ), применяемое к массиву выходных кодов при синусоидальном стимуле для расчёта SNDR и ENOB:

$$SNDR = 10 * \log_{10}\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise} + P_{distortion}}\right), ENOB = \frac{SNDR - 1.76}{6.02} \quad (2)$$

Архитектура среды, построенная в соответствии с UVM-MS, включает следующие ключевые компоненты:

Цифровой UVM-компонент (UVC) для интерфейса SPI: стандартный агент, включающий секвенсер, драйвер и монитор. Отвечает за все операции конфигурирования АЦП [5].

MS Bridge и MS Proxy – сердце UVM-MS

MS Proxy – это такой UVM-класс. Он даёт программный интерфейс (API), чтобы из цифровой среды можно было управлять аналоговыми сигналами. А MS Bridge Core – модуль, который превращает одно в другое: транзакции переводит в реальные значения сигналов, и наоборот. Простой пример: секвенса через Proxy просит сгенерировать синусоиду с нужной амплитудой и частотой – Bridge Core это выполняет [7].

Агент аналоговых данных

Он управляет эталонной моделью и через MS Proxy задаёт ожидаемые аналоговые воздействия. Его монитор получает от MS Bridge квантованные (оцифрованные) значения с аналогового монитора, который подключен к выходу тестируемого устройства (DUT).

Scoreboard (анализатор)

Сюда стекаются три потока данных:

Ожидаемые коды от эталонной модели.

Реальные коды с цифрового выхода АЦП.

Квантованные значения с аналогового выхода (через мост).

Анализатор сравнивает их попарно, считает метрики – INL, SNDR – и выдаёт вердикт: тест прошёл или нет.

Сценарий 1 – проверяем статические характеристики

Сценарий 2 – проверяем динамические характеристики

Сценарий 3 – регрессионное рандомизированное тестирование

Запустили серию из 1000 автоматически сгенерированных тестов с разными параметрами: Коэффициент усиления PGA: 1, 2, 4.

Амплитуда входного сигнала: 10%, 50%, 90% от полной шкалы.

Частота сигнала: от 1 кГц до 100 кГц.

Режим работы АЦП: одиночное преобразование, непрерывный режим.

Ключевые результаты применения UVM-методологии в сравнении с традиционным подходом (directed tests) представлены в таблице:

Таблица 1. Результаты применения UVM-методологии

Критерий оценки	Традиционный подход (Directed Tests)	Предложенный подход (UVM-MS)	Эффект
Функциональное покрытие (конфигурации регистров)	~40%	100%	+60%
Покрытие входных амплитуд	~20% (3 фиксированных уровня)	>95% (непрерывный диапазон)	+75%
Кросс-покрытие ($\text{Gain} \times \text{Amp} \times \text{Freq}$)	Отсутствует	>90%	Полная автоматизация анализа
Время создания повторно используемого UVC для SPI	5-7 чел./дн. (каждый раз заново)	2 чел./дн. (первичная разработка) + 0.5 чел./дн. (адаптация)	Экономия >70% на последующих проектах
Среднее время локализации критической ошибки	1-2 дня (ручной анализ временных диаграмм)	2-4 часа (транзакционная запись, предсказание модели)	Ускорение в 4-8 раз

Представленные результаты наглядно демонстрируют качественный скачок в эффективности верификации смешанных сигнальных трактов при переходе к стандартизированной методологии UVM-MS.

1. Полнота и автоматизация покрытия: Достижение 100% покрытия конфигураций стало возможным благодаря встроенным в UVM механизмам рандомизированной генерации ограниченных (constrained random) тестов. Кросс-покрытие параметров, недостижимое при ручном тестировании, позволяет автоматически обнаруживать ошибки, возникающие только при специфических сочетаниях настроек (например, высокое усиление при малой амплитуде сигнала).

2. Повторное использование и стандартизация: Разработанный UVM-агент для SPI является полноценным компонентом верификационного IP (VIP), который может быть перенесён в любой другой проект, использующий данный интерфейс, с минимальными доработками [5]. Это напрямую соотносится с основным вектором развития отрасли, направленным на сокращение непроизводительных трудозатрат [1, 6].

3. Ускорение отладки: Транзакционный уровень абстракции, предоставляемый UVM, позволяет анализировать поведение системы на высоком уровне (например, "была отправлена команда настройки регистра X"), а не только на уровне сигналов. Интеграция эталонной модели и автоматического сравнения в scoreboard позволяет локализовать ошибку до конкретного тестового воздействия и ожидаемого отклика, сокращая время на поиск причины сбоя.

Анализ чувствительности и ограничений модели: Основным фактором, влияющим на точность верификации, является адекватность эталонной модели. Упрощённая модель на `real`, хотя и обеспечивает высокую скорость симуляции, может не учитывать все неидеальности реальной схемы (шум, влияние substrate, нелинейность емкостей). Поэтому для финальной sign-off верификации критически важных параметров необходима калибровка поведенческой модели по результатам SPICE-моделирования в ключевых точках или переход к более точным моделям на Verilog-AMS [2]. Архитектура UVM-MS, однако, позволяет прозрачно заменять уровень абстракции модели, не переписывая всё тестовое окружение [7].

Сравнение с альтернативными подходами: В отличие от классического co-simulation, где цифровая и аналоговая части выполняются разными симуляторами с медленным интерфейсом обмена, подход UVM-MS, использующий единый симулятор (например, Cadence Xcelium) и тип `real` для обмена, оказывается на порядки производительнее [3]. По сравнению с pure UVM (без MS расширений), которая не может напрямую работать с аналоговыми сигналами, UVM-MS предоставляет стандартизированное, а не кустарное решение для этого взаимодействия, что повышает надёжность и переносимость среды [7].

Что даёт внедрение UVM-MS

Внедрение Universal Verification Methodology for Mixed-Signal (UVM-MS) – это стратегически важный шаг. Он позволяет автоматизировать верификацию аналого-цифровых трактов в современных системах на кристалле (СнК). То, что показано в статье на примере АЦП, подтверждает эффективность подхода. Результаты такие: полное автоматизированное покрытие всего пространства параметров, создание библиотеки компонентов, которые можно переиспользовать, и сокращение времени на отладку и поиск ошибок в разы.

Практическая польза

Мы даём готовый архитектурный шаблон и методологию. Дизайн-центры могут взять и сразу применить. Это снижает риски и сокращает сроки разработки сложных смешанных сигнальных СнК. Особенно сейчас, когда активно развивается отечественная элементная база [6].

Куда двигаться дальше

Перспективы для будущих исследований – в нескольких направлениях.

Интеграция с Portable Stimulus Standard (PSS). Использовать PSS для генерации сценариев на системном уровне, не привязываясь к деталям реализации. Это поднимет уровень абстракции и позволит ещё шире переиспользовать тесты [8].

Применение машинного обучения. Запустить ML-алгоритмы, чтобы они умно анализировали данные покрытия и целенаправленно генерировали тесты для «труднодоступных» угловых случаев (corner cases) [8].

Расширение на RF-тракты. Адаптировать методологию для верификации радиочастотных блоков. Там уже нужны более сложные модели и метрики – EVM, ACPR.

Ожидается, что с переходом UVM-MS под эгиду IEEE для дальнейшего развития, методология станет де-факто отраслевым стандартом, таким же необходимым для смешанной верификации, каким сегодня является UVM для цифровой [4, 7].

Список литературы

1. Калач, А. В. О возможностях применения метода почти-периодического анализа для обработки изображений / А. В. Калач, А. А. Парамонов, С. Л.

Сахаров // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV.

2. Баранов, Л. А. Оценка погрешности и помехоустойчивости тракта аналого-цифрового преобразования в системах автоматического контроля / Л. А. Баранов // Электротехника. – 2017. – № 9. – С. 29-36. – EDN ZEPIVB.

3. Баранов, Л. А. Синтез тракта аналого-цифрового преобразования в системах автоматического контроля и управления железнодорожного транспорта / Л. А. Баранов, В. А. Гречишников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 1(45). – С. 78-86. – EDN OYHGUX.

4. Винограденко, А. М. Метод синтеза интеллектуальных систем контроля технического состояния территориально-распределенных комплексов связи специального назначения / А. М. Винограденко // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 24-35. – DOI 10.36724/2409-5419-2020-12-4-24-35. – EDN APHZUI.

5. Рачинская, Т. А. Проектирование по технологии "Система на кристалле" – "Система в корпусе" – "Система на печатной плате" / Т. А. Рачинская, А. Н. Антропов // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. – 2011. – № 1. – С. 230-232. – EDN RWRKVH.

6. Петров, А. Применение систем на кристалле на базе ПЛИС в информационных системах управления производственным оборудованием / А. Петров, Д. Потехин, И. Тарасов // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2019. – № 1(182). – С. 112-116. – DOI 10.22184/1992-4178.2019.182.1.112.116. – EDN YXSRLF.

7. Кравченко И. В. Проектирование систем на кристалле на основе архитектуры RISC-V / И. В. Кравченко, А. А. Савочкин // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2024. – № 7. – С. 20. – EDN UVJYZV.

8. Зыков, А. Г. Автоматизация верификации программ с использованием графоаналитических моделей вычислительного процесса / А. Г. Зыков, В. И. Поляков, Я. С. Голованев // Программные продукты и системы. – 2019. – № 3. – С. 398-402. – EDN ISEKTN.

Referens

1. Kalach, A.V. On the possibilities of using the method of near-periodic analysis for image processing / A.V. Kalach, A. A. Paramonov, S. L. Sakharov // Modeling of

systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV.

2. Baranov, L. A. Estimation of the error and noise immunity of the analog-to-digital conversion path in automatic control systems / L. A. Baranov // *Electrical Engineering*. – 2017. – No. 9. – pp. 29-36. – EDN ZEPIVB.

3. Baranov, L. A. Synthesis of the analog-to-digital conversion path in automatic control and management systems of railway transport / L. A. Baranov, V. A. Grechishnikov // *Bulletin of the Rostov State University of Railway Communications*. – 2012. – № 1(45). – Pp. 78-86. – EDN OYHGUX.

4. Vinogradenko, A.M. Method of synthesis of intelligent systems for monitoring the technical condition of geographically distributed special-purpose communication complexes / A.M. Vinogradenko // *High-tech technologies in space exploration of the Earth*. – 2020. - Vol. 12, No. 4. – pp. 24-35. – DOI 10.36724/2409-5419-2020-12-4-24-35. – EDN APHZUI.

5. Rachinskaya, T. A. Design using the technology "System on a chip" – "System in a housing" – "System on a printed circuit board" / T. A. Rachinskaya, A. N. Antropov // *Young Russia: advanced technologies – in industry*. – 2011. – No. 1. – pp. 230-232. – EDN RWRKVH.

6. Petrov, A. Application of FPGA-based on-chip systems in production equipment management information systems / A. Petrov, D. Potekhin, I. Tarasov // *Electronics: Science, Technology, business*. – 2019. – № 1(182). – Pp. 112-116. – DOI 10.22184/1992-4178.2019.182.1.112.116. – EDN YXSRLF.

7. Kravchenko I. V. Design of systems on a chip based on the RISC-V architecture / I. V. Kravchenko, A. A. Savochkin // *Modern problems of radio electronics and telecommunications*. – 2024. – No. 7. – p. 20. – EDN UVJYZV.

8. Zykov, A. G. Automation of program verification using graphoanalytical models of the computational process / A. G. Zykov, V. I. Polyakov, Ya. S. Golovanev // *Software products and systems*. – 2019. – No. 3. – pp. 398-402. – EDN ISEKTN.

ИНТЕГРАЦИЯ AI-ПОМОЩНИКОВ В EDA-ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС

С.С. Тарлыков¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается нейросетевой AI-помощник для автоматизации floorplanning в Cadence Virtuoso. Модуль формирует оптимизированные варианты размещения на основе данных прошлых проектов и заданных PPA-ограничений, снижая время раннего проектирования на 25–40%.

Ключевые слова: floorplanning, VLSI design, AI-assisted EDA, машинное обучение, Cadence Virtuoso, оптимизация размещения, PPA-метрики, обучение с подкреплением, физическое проектирование, многокритериальная оптимизация.

INTEGRATION OF AI ASSISTANTS INTO EDA TOOLS FOR ACCELERATING PHYSICAL DESIGN OF VLSI

S.S. Tarlykov¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper discusses a neural AI assistant designed to automate floorplanning in Cadence Virtuoso. The module generates optimized placement variants based on past project data and defined PPA constraints, reducing early design time by 25–40%.

Keywords: floorplanning, VLSI design, AI-assisted EDA, machine learning, Cadence Virtuoso, placement optimization, PPA metrics, reinforcement learning, physical design, multi-objective optimization.

Современное проектирование СБИС характеризуется стремительным ростом сложности архитектур, увеличением количества функциональных блоков и ужесточением требований по энергопотреблению, производительности и пло-

щади кристалла. С уменьшением технологических норм возрастает влияние ранних проектных решений на итоговое качество изделия, особенно на этапе floorplanning и начального размещения элементов.

Традиционные EDA-инструменты предоставляют разработчику набор алгоритмов и эвристик, однако значительная часть решений по компоновке блоков принимается вручную. Это приводит к высокой итерационности процесса, увеличению сроков разработки и зависимости конечного результата от субъективного опыта инженера. В условиях сокращения time-to-market данные факторы становятся критичными.

В последние годы активно исследуются подходы, основанные на применении методов искусственного интеллекта и машинного обучения в задачах физического проектирования. Предлагаются решения на основе обучения с подкреплением, графовых нейронных сетей и гибридных оптимизационных алгоритмов. Несмотря на полученные научные результаты, большинство таких подходов остаётся слабо интегрированным в реальные промышленные EDA-процессы.

Целью данной работы является разработка и исследование AI-помощника, интегрированного непосредственно в среду Cadence Virtuoso, способного ускорить этап floorplanning за счёт автоматической генерации и оценки вариантов размещения элементов с учётом заданных проектных ограничений.

Для достижения цели в статье решаются следующие задачи:

- формализация задачи floorplanning как задачи оптимизации;
- разработка архитектуры нейросетевого модуля;
- интеграция AI-помощника в рабочий процесс EDA;
- экспериментальная оценка эффективности предложенного подхода.

Объектом моделирования в данной работе является СБИС на этапе раннего физического проектирования, представленная в виде набора функциональных блоков:

Каждый блок характеризуется набором параметров:

- геометрические размеры;
- набор электрических соединений;
- локальные ограничения по размещению.
- Входными параметрами задачи являются:
- топология соединений между блоками;
- технологические ограничения;
- допустимые бюджеты по таймингу, энергопотреблению и площади.

Выходом задачи является определение координат размещения каждого блока при которых обеспечивается выполнение всех ограничений.

Основные ограничения задачи включают:

- отсутствие геометрических пересечений блоков;
- укладывание в границы кристалла;
- выполнение тайминговых и энергетических требований.

Задача формулируется как многокритериальная оптимизация с целевой функцией.[2]

Для решения поставленной задачи выбран подход, основанный на машинном обучении с элементами обучения с подкреплением. Данный выбор обусловлен необходимостью учитывать многокритериальный характер оптимизации и использовать накопленный опыт прошлых успешных проектов.

AI-помощник реализован в виде отдельного программного модуля, взаимодействующего с Cadence Virtuoso через API и скриптовые интерфейсы. На вход модели подаётся вектор признаков, включающий:

- параметры блоков;
- характеристики соединений;
- заданные ограничения.

Выходом модели является набор кандидатных вариантов floorplan с оценкой их качества.

В качестве модели используется нейросеть с несколькими полносвязными слоями и блоками внимания, что позволяет учитывать зависимости между элементами размещения.

Процесс обучения построен на исторических данных проектов. Для каждого состояния системы определяется функция вознаграждения, что стимулирует модель к поиску решений с минимальными значениями целевых показателей.

Обучение проводится в оффлайн-режиме, после чего модель используется в интерактивном режиме проектирования.

Алгоритм функционирования модуля включает следующие шаги:

- Импорт проектных данных и ограничений из EDA-среды.
- Генерация набора вариантов размещения.
- Быстрая оценка каждого варианта по PPA-метрикам.
- Ранжирование и отображение лучших решений разработчику.

Экспериментальные исследования проводились на наборе проектов средней сложности, включающих от 30 до 120 функциональных блоков, реализованных по одному технологическому процессу.

Рассматривались три сценария:

- ручное floorplanning;
 - полностью автоматизированный AI-assisted floorplanning;
 - гибридный сценарий с участием разработчика.
- В качестве метрик использовались:
- общее время выполнения этапа floorplanning;
 - количество итераций;
 - показатели PPA.

По сравнению с традиционными эвристическими методами предложенный подход демонстрирует более стабильное качество и лучшую масштабируемость.

В работе предложен и исследован AI-помощник для ускорения этапа floorplanning СБИС, интегрированный в среду Cadence Virtuoso. Разработанный модуль позволяет существенно сократить время проектирования при сохранении или улучшении ключевых характеристик качества.[1]

Практическая значимость работы заключается в возможности промышленного применения предложенного решения без радикального изменения существующих EDA-процессов. В дальнейшем планируется расширение подхода на этапы размещения стандартных ячеек и трассировки, а также адаптация модели к различным технологическим процессам.

Список литературы

1. Малинаускас, К. К. Построение графовых моделей в системах топологического проектирования СБИС с использованием диаграмм Вороного / К. К. Малинаускас // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2008. – № 1. – С. 114-119. – EDN MQJAEN.
2. Ерохин, В. В. Визуализация данных в программном обеспечении Cadence при проектировании топологических описаний СБИС систем на кристалле / В. В. Ерохин, Р. А. Вольф, Ж. Б. Садыков // Инфографика и информационный дизайн: визуализация данных в науке : материалы Международной научно-практической конференции, Омск, 17–18 ноября 2017 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2017. – С. 112-118. – EDN XHVVQYR.

3. Глушань, В. М. Исследование модели распределенного топологического проектирования СБИС средствами иерархической клиент-серверной архитектуры / В. М. Глушань, П. В. Лаврик, М. В. Рыбальченко // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2016. – № 2. – С. 190-196. – EDN WQSJDL.

References

1. Malinauskas, K. K. Construction of graph models in VLSI topological design systems using Voronoi diagrams / K. K. Malinauskas // Problems of development of promising micro- and nanoelectronic systems (MES). – 2008. – No. 1. – pp. 114-119. – EDN MQJAEN.

2. Erokhin, V. V. Data visualization in Cadence software when designing topological descriptions of VLSI systems on a chip / V. V. Erokhin, R. A. Wolf, Zh. B. Sadykov // Infographics and information design: data visualization in science : proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Omsk, November 17-18, 2017. Omsk: Omsk State Technical University, 2017. pp. 112-118. - EDN XHVQYR.

3. Glushan, V. M. Investigation of the VLSI distributed topological design model using hierarchical client-server architecture / V. M. Glushan, P. V. Lavrik, M. V. Rybalchenko // Problems of developing promising micro- and nanoelectronic systems (MES). – 2016. – No. 2. – pp. 190-196. – EDN WQSJDL.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

А.Е. Томилов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье показан подход к созданию имитационной модели теплового режима и энергопотребления здания с использованием системы динамического моделирования AnyDynamics. Разработана математическая модель на основе уравнения теплового баланса для однозонного объекта. Рассмотрены вопросы реализации пропорционального регулирования системы отопления, настройки численного решателя и калибровки параметров модели. Результаты моделирования демонстрируют адекватность подхода для прогнозирования потребления энергии и оптимизации работы систем ОВК.

Ключевые слова: энергопотребление здания, имитационное моделирование, AnyDynamics, тепловой баланс, система отопления, энергосбережение.

BUILDING ENERGY SIMULATION

A.E. Tomilov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article shows an approach to creating a simulation model of the thermal regime and energy consumption of a building using the AnyDynamics dynamic modeling system. A mathematical model based on the heat balance equation for a single-zone object has been developed. The issues of implementing proportional control of the heating system, setting up a numerical solver and calibrating the model parameters are considered. The simulation results demonstrate the adequacy of the approach for predicting energy consumption and optimizing the operation of HVAC systems.

Keywords: building energy consumption, simulation modeling, AnyDynamics, heat balance, heating system, energy saving.

Введение

Современные системы автоматизированного управления инженерным оборудованием зданий требуют адекватных математических моделей для настройки алгоритмов регулирования и прогнозирования энергопотребления. Особую актуальность приобретает задача разработки динамических моделей, способных описывать нестационарные процессы теплопередачи с учетом тепловой аккумулирующей способности строительных конструкций и работы систем автоматического регулирования температуры.

Целью данного **исследования** является разработка и верификация динамической имитационной модели теплового режима однозонного здания в среде AnyDynamics для анализа энергопотребления и оптимизации работы системы отопления с пропорциональным регулированием. В данной модели должны быть отображены:

1. Зависимость температур внутри и снаружи здания от времени суток.
2. Как изменяются показатели теплопотерь в течении дня.
3. Общая расходуемая энергия на поддержание необходимой температуры.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная модель может быть использована проектировщиками для оптимизации мощности систем отопления, энергоаудиторами для выявления резервов энергосбережения, а также управляющими компаниями для оценки эффективности мероприятий по модернизации инженерного оборудования зданий.

Методология и результаты теоретического анализа

Чтобы эффективно оптимизировать расход энергоресурсов в современных жилых зданиях, нужно сначала собрать и систематизировать информацию по целому ряду параметров. Речь идёт о теплофизических характеристиках наружных стен, крыш и перекрытий, о климатических особенностях местности, а также об условиях эксплуатации систем отопления и вентиляции для каждого конкретного объекта. От того, насколько точны будут эти исходные данные, зависит, насколько адекватную расчётную модель мы получим для оценки реального энергопотребления дома. Полнота собранной информации напрямую определяет точность всех последующих расчётов и выводов.

На этом этапе главная цель исследования – создать качественную информационную базу. Она должна позволить:

- провести глубокий и всесторонний анализ текущей ситуации с точки зрения энергоэффективности здания,
- выявить перспективные направления для совершенствования технологий,
- формализовать подход к определению ключевых показателей будущей методики расчётов.

Основные параметры, на которые стоит обратить особое внимание при анализе энергоэффективности и расчётах теплопотерь:

1. Геометрия помещений – общая площадь стен, окон и внутренний объём напрямую влияют на величину теплопотерь.
2. Материалы конструкций – у разных строительных материалов разный коэффициент теплопроводности, а значит, разная способность удерживать тепло.
3. Климатические условия – температура воздуха и погодные особенности региона определяют, насколько нужно утеплять или охлаждать здание.
4. Энергетические нагрузки – потребление энергии системами отопления, вентиляции, освещения и прочим оборудованием. Эти данные критически важны для оптимизации общего энергопотребления.

При проведении расчетов и построения модели потребления энергии зданием мы сделаем несколько упрощающих предположений:

Мы возьмем одно типичное офисное помещение в качестве примера, рассматривая его как среднее представительское пространство среди всего комплекса помещений здания. То есть данное помещение должно иметь средние значения площади стен, объема пространства и размеров окон относительно остальных помещений, а также – стандартные материалы постройки (кирпич для стен и бетон для пола).

Анализ данных и математическая модель

В ходе работы будут использованы реальные данные о температуре наружного воздуха для определенного дня в конкретном регионе. Так, например, расчеты будут проводиться исходя из средней температуры города Воронеж на конкретную дату: 10 февраля 2026 года, а именно – -13 °С. Временной интервал эксперимента – 2 суток.

Основу самой модели строится на дифференциальном уравнении теплового баланса:

$$C_{total} \frac{dt_{inside}}{dt} = Q_{heat} + Q_{people} + Q_{solar} - Q_{trans} - Q_{vent} , \quad (1)$$

- C_{total} – полная теплоемкость здания (воздух + конструкции), Дж/°С;

- T_{inside} – температура внутреннего воздуха, °C;
- Q_{heat} – мощность системы отопления, Вт;
- Q_{people} – тепловыделения от людей, Вт;
- Q_{solar} – солнечные теплопритоки, Вт;
- Q_{trans} – теплопотери через ограждающие конструкции, Вт;
- Q_{vent} – теплопотери с вентиляционным воздухом, Вт.

1.3 Расчет составляющих баланса

Полная теплоемкость рассчитывается как сумма теплоемкостей воздуха и масс ограждающих конструкций:

$$C_{total} = p_{air} * c_{air} * V_{air} + m_{walls} * c_{walls} + m_{floor} * c_{floor}, \quad (2)$$

Трансмиссионные теплопотери определяются разностью температур внутри и снаружи здания:

$$Q_{trans} = (k_{walls} * A_{walls} + k_{win} * A_{win} + k_{floor} * A_{floor}) * (T_{inside} - T_{outside}) \quad (3)$$

Потери энергии на вентиляцию зависят от расхода воздуха G и температуры притока

$$Q_{vent} = G * p_{air} * c_{air} * (T_{inside} - T_{vent}) \quad (4)$$

Для предотвращения перегрева и экономии энергии внедрено пропорциональное регулирование мощности отопления. Необходимая мощность Q_{heat} зависит от разницы между установленной температурой, которую необходимо достичь, T_{set} и текущей температурой:

$$Q_{heat} = \max(0, Q_{heat\_max} * \frac{T_{set} - T_{inside}}{K_{prop}}), \quad (5)$$

где Q_{heat_max} – максимальная мощность отопления, K_{prop} – коэффициент отклонения температур (равен 5).

Проведя анализ темы и определив, какие данные необходимы для построения модели, а также какую роль они будут играть, мы можем приступить к ее созданию.

Реализация модели энергопотребления здания в среде AnyDynamics

Модель реализована в виде единого класса, содержащего три раздела:

1. Параметры. К ним относятся площади конструкций, их массы, коэффициенты теплопередачи.
2. Переменные. В этом разделе определены состояния системы (температуры) и промежуточные величины (трансмиссионные потери и потери энергии на вентиляцию).

3. Система уравнений.

Конкретные значения параметров и переменных представлено в виде двух таблиц:

Таблица 1 – Начальные значения параметров модели

Обозначение параметра	Значение	Комментарий
rho_air	1.2	Плотность воздуха, кг/м ³
c_air	1005	Теплоемкость воздуха, Дж/(кг*°C)
V_air	300	Объем воздуха, м ³
m_walls	50000	Масса стен, кг
c_walls	800	Теплоемкость материала стен, Дж/(кг*°C)
m_floor	30000	Масса пола, кг
c_floor	900	Теплоемкость материала пола, Дж/(кг*°C)
k_walls	0.35	Коэффициент теплопередачи стен, Вт/(м ² *°C)
A_walls	120	Площадь стен, м ²
k_win	1.2	Коэффициент теплопередачи окон, Вт/(м ² *°C)
A_win	22	Площадь окон, м ²
k_floor	0.5	Коэффициент теплопередачи пола, Вт/(м ² *°C)
A_floor	100	Площадь пола, м ²
G	0.083	Расход воздуха м ³ /с
t_vent	-8	Температура приточного воздуха, °C
Q_heat_max	150000	Максимальная мощность отопления, Вт
q_people	100	Тепловыделение 1-ого человека, Вт
n_people	10	Количество людей
I_solar_max	300	Солнечная радиация, Вт/м ²
g_val	0.6	Коэффициент пропускания стекла
sh_coef	0.8	Коэффициент затенения/ориентации
T_set	22	Достижимая температура, °C

Для имитации реальных условий внешняя температура $T_{outside}$ и солнечная радиация I_{solar} заданы как гармонические функции времени с периодом 86400 секунд (сутки):

$$T_{outside}(t) = -13 + 5 * \sin\left(\frac{2*3.14159265*t}{86400}\right) \quad (6)$$

$$I_{solar}(t) = \max(0, 300 * \sin\left(\frac{2*3.14159265*t}{86400} - 1.57\right)) \quad (7)$$

Таблица 2 – Начальные значения переменных модели

Обозначение переменной	Значение
T_inside	18
T_outside	-13
C_total	0
Q_trans	0
Q_vent	0
Q_solar	0
Q_people	0
E_consumed	0
I_solar	0
Q_heat	0

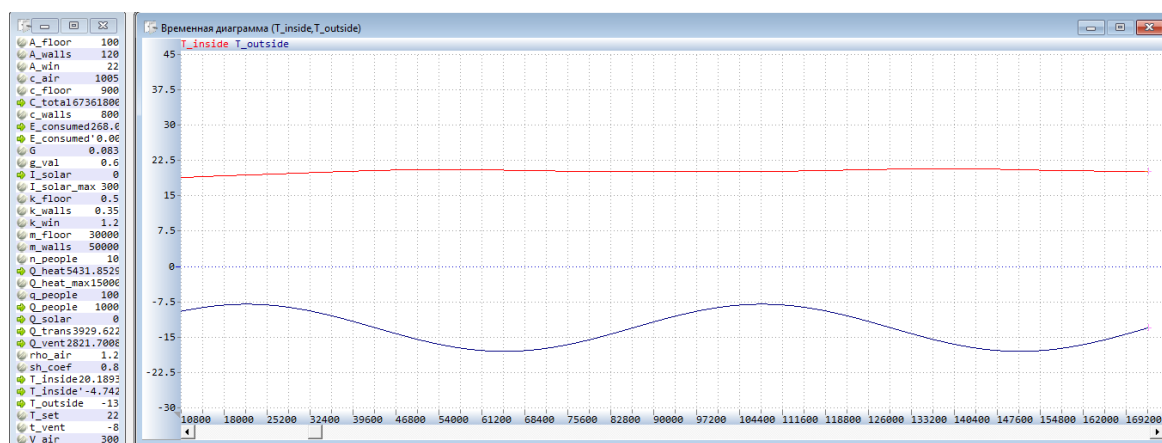


Рисунок 1 – Временные зависимости внутренней и внешней температуры

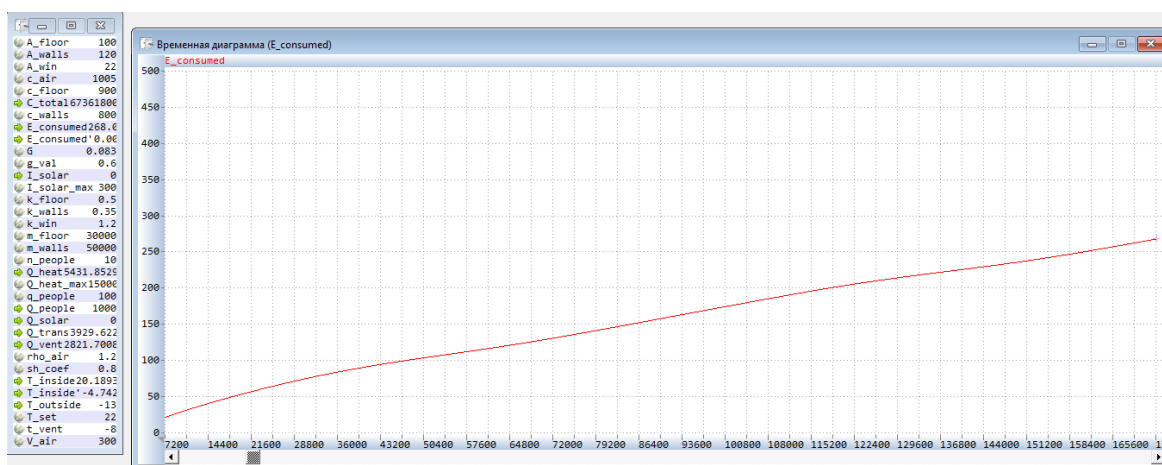


Рисунок 2 – Временная зависимость накопленной энергии

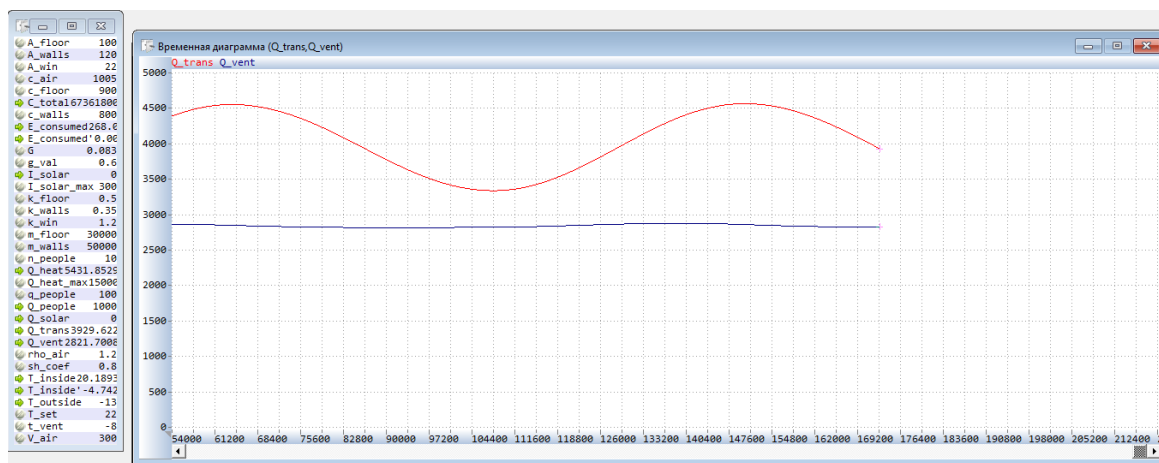


Рисунок 3 – Временные зависимости теплотерь через ограждения
и вентиляцию

Результаты моделирования и их анализ

Анализ полученных зависимостей показывает, что баланс сходится с точностью до 5-7%, что является приемлемым результатом с учетом упрощений модели (однозонность, сосредоточенная теплоемкость).

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность применения системы динамического моделирования AnyDynamics для решения задач анализа и прогнозирования энергопотребления зданий. Разработанная математическая модель на основе метода сосредоточенных параметров продемонстрировала способность адекватно описывать сложные нестационарные процессы теплообмена с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций, переменных климатических воздействий и работы автоматизированной системы управления отоплением.

Список литературы

1. Руководство пользователя AnyDynamics версии 9.2 / под ред. В. А. Малыгина. – Москва : МВ Студио, 2023. – 384 с. – ISBN 978-5-6049821-0-5.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий : актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 / Минстрой России. – Москва : ФАУ «ФЦС», 2016. – 98 с.
3. Петров, А. В. Динамическое моделирование теплового режима зданий методом сосредоточенных параметров / А. В. Петров, Е. С. Морозова // Инженерно-строительный журнал. – 2022. – № 5 (111). – С. 78–92. – DOI 10.34910/MCE.111.6.

4. Сидоров, К. Л. Алгоритмы пропорционально-интегрального регулирования в системах автоматизации инженерного оборудования зданий / К. Л. Сидоров // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 45–59. – DOI 10.24412/2074-0945-2023-3-45-59.
5. ASHRAE Handbook – Fundamentals. Chapter 18: Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations / American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. – Atlanta : ASHRAE, 2021. – 1142 p. – ISBN 978-1-955516-04-2.
6. Козлова, М. И. Оценка энергоэффективности ограждающих конструкций жилых зданий на основе имитационного моделирования / М. И. Козлова, Д. Р. Файзуллин // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16, № 8. – С. 1023–1037. – DOI 10.22227/1997-0935.2021.8.1023-1037.
7. Фридман, А. Э. Методы верификации и валидации имитационных моделей динамических систем / А. Э. Фридман, Н. П. Лебедев // Моделирование и анализ информационных систем. – 2020. – Т. 27, № 4. – С. 412–429. – DOI 10.18255/1818-1015-2020-4-412-429.
8. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : межгосударственный стандарт. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 24 с.
9. Васильев, П. Н. Применение объектно-ориентированного моделирования для анализа энергопотребления в системах ЖКХ / П. Н. Васильев, О. А. Соколова // Цифровая экономика и информационное общество. – 2024. – Т. 8, № 1. – С. 33–47. – DOI 10.18799/26585197/2024/1/33.

References

1. AnyDynamics User's Guide version 9.2 / edited by V. A. Malygin. – Moscow : MV Studio, 2023. – 384 p. – ISBN 978-5-6049821-0-5.
2. SP 50.13330.2012. Thermal Protection of Buildings : updated version of SNiP 23-02-2003 / Ministry of Construction of the Russian Federation. – Moscow : FAU "FTSS", 2016. – 98 p.
3. Petrov, A. V. Dynamic Modeling of the Thermal Regime of Buildings by the Lumped Parameter Method / A. V. Petrov, E. S. Morozova // Journal of Civil Engineering. – 2022. – No. 5 (111). – P. 78–92. – DOI 10.34910/MCE.111.6.
4. Sidorov, K. L. Proportional-Integral Control Algorithms in Building Engineering Equipment Automation Systems / K. L. Sidorov // Automation and IT in Energy. – 2023. – Vol. 16, No. 3. – Pp. 45–59. – DOI 10.24412/2074-0945-2023-3-45-59.

5. ASHRAE Handbook – Fundamentals. Chapter 18: Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations / American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. – Atlanta : ASHRAE, 2021. – 1142 p. – ISBN 978-1-955516-04-2.

6. Kozlova, M. I. Assessment of the energy efficiency of enclosing structures of residential buildings based on simulation modeling / M. I. Kozlova, D. R. Fayzullin // Bulletin of MGSU. - 2021. - Vol. 16, No. 8. - P. 1023-1037. - DOI 10.22227/1997-0935.2021.8.1023-1037.

7. Fridman, A. E. Methods of verification and validation of simulation models of dynamic systems / A. E. Fridman, N. P. Lebedev // Modeling and analysis of information systems. - 2020. - Vol. 27, No. 4. - P. 412-429. – DOI 10.18255/1818-1015-2020-4-412-429.

8. GOST 30494-2011. Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters: interstate standard. – Moscow: Standartinform, 2013. – 24 p.

9. Vasiliev, P. N. Application of object-oriented modeling for energy consumption analysis in housing and communal services systems / P. N. Vasiliev, O. A. Sokolova // Digital Economy and Information Society. – 2024. – Vol. 8, No. 1. – P. 33–47. – DOI 10.18799/26585197/2024/1/33.

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СРЕДЕ ВУЗА

А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема моделирования угроз информационной безопасности в распределенной ИТ-среде вуза. Предлагаются конструктор сценариев инцидентов и генератор тестов, позволяющие формировать и воспроизводить различные векторы атак с учетом специфики образовательной инфраструктуры. Описываются модульная архитектура программного комплекса, методы генерации тестов и результаты апробации в условиях реального вуза.

Ключевые слова: моделирование угроз, информационная безопасность, конструктор сценариев, генератор тестов, распределенная ИТ-среда, вуз.

TOOLS FOR MODELING INFORMATION SECURITY THREATS IN A DISTRIBUTED UNIVERSITY ENVIRONMENT

A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after
G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the problem of modeling information security threats in a distributed IT environment of a university. An incident scenario constructor and a test generator are proposed, which make it possible to generate and reproduce various attack vectors, taking into account the specifics of the educational infrastructure. The modular architecture of the software package, methods of test generation and the results of approbation in a real university are described.

Keywords: threat modeling, information security, scenario designer, test generator, distributed IT environment, university.

Современные вузы представляют собой сложные распределенные информационные системы, объединяющие территориально удаленные корпуса, разнородное оборудование и множество категорий пользователей. Статистика фиксирует устойчивый рост числа кибератак на образовательные учреждения, что обусловлено как значительными объемами персональных данных, так и спецификой академической среды - открытостью, сезонными колебаниями активности, использованием личных устройств. Существующие подходы к оценке защищенности, основанные на периодических аудитах, дают точечную картину, быстро теряющую актуальность. Цель работы - разработка конструктора сценариев инцидентов и генератора тестов для моделирования угроз в распределенной ИТ-среде вуза.

Информационная инфраструктура вуза обладает рядом специфических характеристик: территориальная распределенность, разнородность оборудования и ПО, множественность категорий пользователей (студенты, преподаватели, административный персонал, технические специалисты), исторически сложившаяся сегментация сети, сезонные факторы активности, наличие открытых сервисов и использование личных устройств (BYOD). Эти особенности требуют специализированного инструментария моделирования угроз. [1,2]

Комплекс строится по модульному принципу и включает:

- модуль управления сценариями (визуальное конструирование, библиотека сценариев);
- модуль генерации тестов (преобразование сценариев в воздействия);
- модуль интеграции с системами мониторинга (SIEM, IDS/IPS, DLP);
- модуль сбора результатов и формирования отчетности;
- модуль администрирования (управление доступом, настройка параметров).

Апробация проводилась в техническом вузе с распределенной инфраструктурой (6 корпусов, 12000 студентов, 1500 сотрудников). Сформировано 10 сценариев различных категорий. Результаты выявили: наличие сервисов с устаревшим ПО; 15% сотрудников открывают вложения от неизвестных отправителей; избыточные права доступа у ряда сотрудников; недостаточную изоляцию гостевого Wi-Fi. Апробация подтвердила работоспособность инструментария и его практическую значимость. [5,6]

Таблица 1. Основные модули программного комплекса и их функции

Модуль	Основные функции
Управления сценариями	Визуальное конструирование, редактирование, хранение сценариев
Генерации тестов	Преобразование сценариев в тестовые воздействия
Интеграции с СЗИ	Взаимодействие с SIEM, IDS/IPS, DLP
Сбора результатов	Аккумуляция данных тестирования, формирование отчетов
Администрирования	Управление доступом, настройка параметров

Разработаны конструктор сценариев инцидентов и генератор тестов для моделирования угроз в распределенной ИТ-среде вуза. Предложенная концепция базируется на модульном подходе к формированию сценариев. Апробация подтвердила способность инструментария выявлять уязвимости, неочевидные при традиционных подходах. Практическая значимость заключается в возможности регулярной оценки защищенности, выявления недостатков сегментации сети и проверки готовности персонала.

Список литературы

1. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBVHJO.
2. Петрова, Е. В. Моделирование процесса обнаружения угроз в распределенной информационной системе / Е. В. Петрова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2009. – № 5. – С. 061-063. – EDN PUOHUD.
3. Миняев, А. А. Моделирование угроз безопасности информации в территориально-распределенных информационных системах / А. А. Миняев // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 52-65. – DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-2-52-65. – EDN OJBVGU.
4. Ланкин, О. В. Моделирование систем защиты информации на основе временных аналитических баз данных / О. В. Ланкин, И. И. Застрожных, А. Д. Попов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2025. – № 4. – С. 84-93. – EDN UVGUDO.

5. Баранов, В. В. Комплексная модель функционирования распределенных информационных систем в условиях деструктивного воздействия / В. В. Баранов // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". – 2022. – № 5. – С. 51-67. – EDN USWVKZ.

6. Вульфин, А. М. Модели и методы комплексной оценки рисков безопасности объектов критической информационной инфраструктуры на основе интеллектуального анализа данных / А. М. Вульфин // Системная инженерия и информационные технологии. – 2023. – Т. 5, № 4(13). – С. 50-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no3-p50. – EDN FJPFKC.

References

1. Sumin, V. I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V. I. Sumin, A. S. Kravchenko, A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. - 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

2. Petrova, E. V. Modeling of the threat detection process in a distributed information system / E. V. Petrova // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. – 2009. – No. 5. – pp. 061-063. – EDN PUOHUD.

3. Minyaev, A. A. Modeling information security threats in geographically distributed information systems / A. A. Minyaev // High-tech technologies in space exploration of the Earth. – 2021. – Vol. 13, No. 2. – pp. 52-65. – DOI 10.36724/2409-5419-2021-13-2-52-65. – EDN OJBGTGU.

4. Lankin, O. V. Modeling of information security systems based on temporary analytical databases / O. V. Lankin, I. I. Zastrozhnov, A.D. Popov // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. – 2025. – No. 4. – pp. 84-93. – EDN UVGUDO.

5. Baranov, V. V. Complex model of functioning of distributed information systems in conditions of destructive influence / V. V. Baranov // Electronic network political journal "Scientific works of KubSTU". – 2022. – No. 5. – pp. 51-67. – EDN USWVKZ.

6. Vulfin, A.M. Models and methods of integrated assessment of security risks of critical information infrastructure facilities based on data mining / A.M. Vulfin // System engineering and information technology. – 2023. – Vol. 5, No. 4(13). – pp. 50-76. – DOI 10.54708/2658-5014-SIIT-2023-no3-p50. – EDN FJPFKC.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И NLP: КОНЦЕПЦИИ И ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОЕКТЕ РЕАЛИЗАЦИИ САЙТА ПОДБОРА ГАДЖЕТОВ

Ю.В. Черных¹, О.А. Авилова¹, С.В. Нетесова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается концепция веб-сайта рекомендательной системы для подбора технических устройств для экономии времени и финансов

Ключевые слова: рекомендательная система, веб-сайт, помощник для выбора гаджетов, прогнозирование, NLP, обработка естественного языка, проект.

RECOMMENDER SYSTEMS, FORECASTING, AND NLP: CONCEPTS AND APPLICATION IN A GADGET SELECTION WEBSITE PROJECT

Y.V. Chernykh¹, O.A. Avilova¹, S.V. Netesova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article discusses the concept of a website recommender system for selecting technical devices to save time and money.

Keywords: recommender system, website, gadget selection assistant, forecasting, NLP, natural language processing, project.

С развитием компьютерных технологий все больше и больше изменяется объем потребляемой пользователем информации. Происходит ее переизбыточность, и теперь даже подобрать что-то простое становится игрой с риском. Риском переплатить, взять неподходящий по своим запросам товар, а то и вовсе так и не найти для себя ничего подходящего.

Этой проблемы непроизвольно касаются даже рынка технологических устройств. С огромным разнообразием моделей с разнообразными характеристиками покупатели часто не понимают, в каких из них имеется поддержка именно

тех функций, что нужны им. Достаточно часто можно увидеть негативные отзывы на смартфоны с комментариями о том, что он не “тянет” какую-либо игру, не подозревая, что по техническим характеристикам он не являлся игровым как таковой. Это создает путаницу, усложняя и так нелегкий процесс выбора гаджета в подарок или для долгой службы, ведь речь идет и о сокращении затрат на максимально хороший для покупателя телефон.

Когда нет времени или желания досконально изучать рынок самостоятельно, бродить по сайтам в поисках выгодного предложения и читать от десятков до тысяч отзывов на каждый товар, на помощь могут прийти интеллектуальные помощники - рекомендательные системы автоматизации поиска и анализа рынка гаджетов по запросу пользователя, с выбором наилучших предложений и сводками на основах существующих отзывов.

Проект, который может стать настоящим спасением для пользователей, представляет собой сайт- рекомендательная система с ключевыми компонентами, которая выполнит функцию “волшебной палочки” и сэкономит не только время на подбор устройства, но и поможет сэкономить свои финансы, прогнозируя спад или пик цены. В данной статье рассматриваются теоретические основы ключевых компонентов предлагаемой системы и их применение в рамках этого проекта.

Рекомендательные системы - повседневные помощники

Такой вид систем представляет собой класс алгоритмов и программных решений, предназначенных для предсказания (предикта) предпочтений пользователя и предложения ему более релевантных (соответствующих потребностям) элементов из большого набора вариантов. С такими системами каждый мог сталкиваться на маркетплейсах, на главной странице, когда система “выбирала” показать товары, связанные с уже совершенными покупками или просмотренными недавно товарами. Это не один вид, он имеет свои типы, основанные на определенных правилах и логике.

1. Контентная фильтрация

Метод основан на сходстве между характеристиками товаров и профилем пользователя. Если посмотреть на эту систему с точки зрения специалиста, то происходит анализ товаров, которые пользователь предпочитал или приобретал в прошлом. Это могут быть характеристики книг (твердый или мягкий переплет), характеристики косметики (состав), или, касаясь основной темы статьи, объема

памяти, процессор, разрешение экрана гаджетов). Ориентируясь на результаты этого анализа, такая система ищет предметы с похожими атрибутами.

Математически это сводиться к задаче измерения близости в многомерном пространстве признаков (известное также как многомерное шкалирование), например, с помощью косинусного сходства:

Пусть каждый смартфон i представлен вектором признаков $\vec{f}_i = (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{in})$. Профиль пользователя u формируется как агрегация

векторов понравившихся ему моделей, например: $\vec{p}_u = \frac{1}{|I_u|} \sum_{j \in I_u} \vec{f}_j$ - средний вектор, учитывающий множество моделей, с которыми взаимодействовал (просматривал) пользователь. Рекомендация формируется путем нахождения товаров k , стремящийся максимизировать косинусное сходство: $\text{sim}(\vec{p}_u, \vec{f}_k) = \frac{\vec{p}_u * \vec{f}_k}{\|\vec{p}_u\| * \|\vec{f}_k\|}$

На старте разработки проекта, использование именно такого типа системы будет наиболее подходящей ввиду своей простоты. Пользователь формулирует запрос, NLP-модуль извлекает ключевые параметры (бюджет, назначение, атрибуты). Параметры преобразуются в вектор запроса, сравниваемый с векторами характеристик моделей из базы данных. Модели с наивысшим сходством ранжируются и предлагаются пользователю, избегая моделей, неподходящих запросу пользователя, снижая риск приобрести неподходящую модель устройства.

2. Коллаборативная фильтрация

Этот метод также основывается на сходстве, но не между пользователем и товаром, а между такими же пользователями. Упрощенно это можно описать так: если пользователи А и В имели схожие вкусы в прошлом (оценивали, искали такие же товары), то с большей вероятностью им понравятся и другие одинаковые товары. Такой тип рекомендательной системы не требует глубокого анализа содержания предметов, ведь работает лишь с матрицей взаимодействий “пользователь-предмет”.

Часто реализуется через матричную факторизацию: исходная разреженная (заполненная пустыми значениями) матрица рейтингов R ($m \times n$), где m - пользователи, а n - товары, аппроксимируется произведением двух матрицы меньшей размерности $P \times Q$ - матрица скрытых факторов пользователей и матрица скрытых факторов товаров. Обучение модели требует поиска матриц P , Q , ведущих к минимизации ошибок предсказания известных рейтингов (один из известных студентам способов - метод наименьших квадратов).

В рассматриваемом проекте такой тип довольно сложен ввиду “холодного старта”. Однако, с развитием данной системы, по мере накопления данных о поведении пользователей, этот тип, в совокупности со следующим типом, позволит значительно повысить точность рекомендаций, что позитивно скажется на эффективности системы.

3. Гибридные системы

Как можно понять из названия, такие системы комбинируют в себе несколько подходов (два уже рассмотрены выше, и система, основанная на знаниях, которую в этой статье не имеет смысла рассматривать в рамках проекта), для преодоления недостатков каждого.

Прогнозирование - сложная математика, приятный и полезный результат

Как было описано выше, сохранение финансов – это главный критерий любой рекомендательной системы для пользователей. А если пользователь сможет видеть прогноз цены на определенное время на определенный смартфон- сайт несомненно сможет пользоваться доверием к себе.

В рамках проекта прогнозирование цены- лишь классическая задача анализа временных рядов. Сама задача заключается в построении модели, на основе исторических данных о ценах на товар умеющее предсказать значения на будущий период (1-2 месяца).

1. Экспоненциальное сглаживание

Представляет собой семейство методов, в которых прогноз- взвешенное среднее прошлых наблюдений. Веса при этом убывают по экспоненте по мере удаления в прошлое (более поздние наблюдения имеют больший вес). Простейшая форма - простое экспоненциальное сглаживание - подходит для данных без тренда и сезонности, что может быть эффективно при краткосрочных прогнозах, ведь чем дальше будет работать прогнозирование, тем более неточное оно выходит. Также существует двойное экспоненциальное сглаживание, учитывающее оценку тренда. Такой прогноз является более точным, но для проекта этого все еще мало. Тройное экспоненциальное сглаживание же учитывает как тренд, так и сезонность. Прогноз этим методом получается более долгосрочный, что является хорошим стартом проекта. Сравнение этих трех подвидов можно наблюдать на рисунке 1.

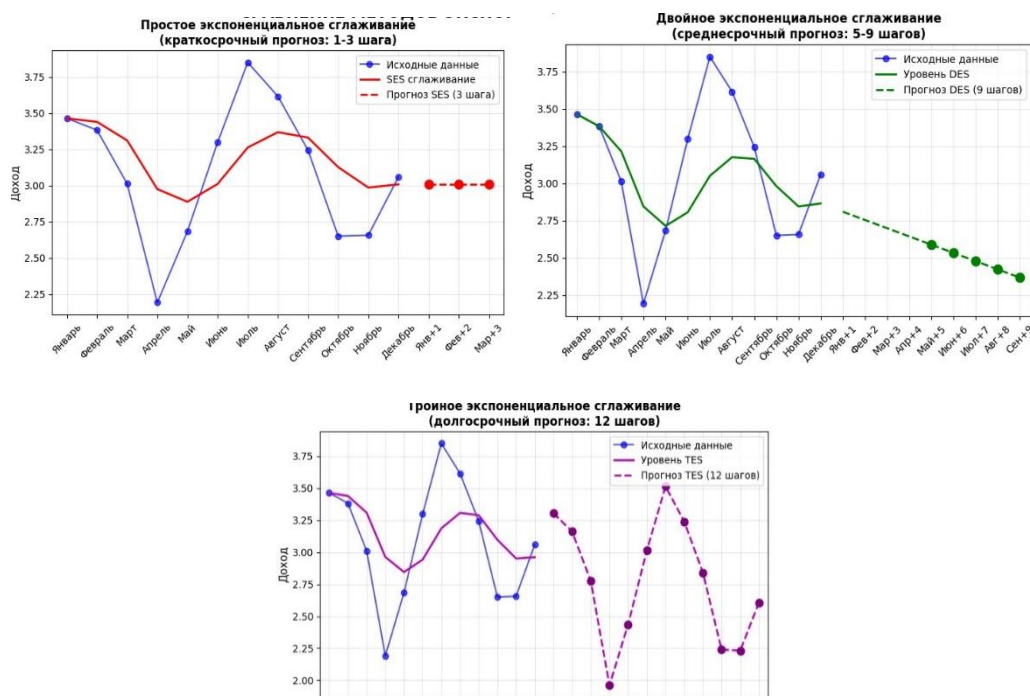


Рисунок 1 - график прогнозирования: а) простое эксп., б) двойное эксп., в) тройное эксп.

Простая математическая модель при простом эксп. сглаживании выглядит следующим образом:

Прогноз на шаг: $\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + (1 - \alpha)\hat{y}_t$, где y_t - фактическое значение в момент времени, умноженный на параметр сглаживания α (принимает значение от 0 до 1 не включая), и прибавленный к произведению сглаженного значения для момента времени и дополнением к α .

2. Модели ARIMA

Представляет собой обширный класс моделей для описания стационарных и нестационарных рядов. Состоит из трех компонентов:

(Из-за чего название моделей также может звучать как ARIMA(p, d, q):

- AR(p) - авторегрессия. Текущее значение ряда зависит от своих предыдущих значений
- I(d) - интегрирование. Приведение ряда к стационарному виду с помощью дифференцирования порядка d.
- MA(q) - скользящее среднее. Текущее значение зависит от ошибок прогноза предыдущих периодов.

3. Регрессионный анализ с учетом тренда & сезонности

Из-за ограниченности объема данных на старте, удобнее всего использовать относительно простые интерпретируемые модели: экспоненциальное сглаживание и регрессионный анализ. Цены на конкретное устройство из базы данных извлекаются и становятся “учебным материалом” для обучения модели. В результате получим модель, способную строить прогноз на 1-2 месяца вперед. Учет сезонности ввиду недостатка данных может не выполняться.

Также стоит учесть, что, как и любая другая модель, необходимо включить метрики ошибок, чтобы определить точность модели на данных и предупредить переобучение. Для оценки точности модели используются стандартные метрики MAE, RMSE. По мере возможной перспективы и развития системы можно будет перейти на более сложные модели, такие как SARIMA, прекрасно учитывающая сезонность, или LSTM, представляющие собой рекуррентных нейронных сетей.

Модели обработки естественного языка

NLP (Natural Language Processing)- область искусственного интеллекта, обучающая компьютеры понимать, интерпретировать и генерировать человеческий язык. Он объединяет лингвистику и машинное обучение для анализа текста и речи, и все сталкивались с моделями этого типа в голосовых помощниках, переводя текст в переводчике, и даже в чат-ботах. Компоненты таких моделей будут играть следующие важные роли в проекте: понимание запроса пользователя (ведь иногда человеку проще описать, что он хочет, чем искать параметры фильтров), а также анализ текстов отзывов для генерации краткой сводки на основе отзывов, что сэкономит время пользователя на прочтение информационного шума.

1. Обработка пользовательского запроса

Перед разработчиком модели ставится следующая задача: извлечь структурированные параметры из неформального текстового запроса. (Это может быть, к примеру “Хочу игровой ноутбук до 70 тысяч, легкий, и чтобы была RGB-подсветка у клавиатуры”).

Какие методы будет лучше использовать разработчику? В первую очередь, необходимо производить следующий процесс:

- Лемматизация и стемминг: приведение слов к нормальной форме или корню. Для облегчения этой части используются готовые библиотеки Питон, такие как spaCy с моделью Natasha для русского языка).

- Извлечение именованных сущностей: распознавание в тексте сущностей, например, наименование брендов, модели, суммы денег, наличие или отсутствие какой-то функции или компонента.
- Анализ тональности, извлечение ключевых слов: определение важных аспектов для пользователя (игровой ноутбук, подсветка клавиатуры). Может использоваться подход на основе Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) для выделения терминов к контексте каталога устройств.
Рассмотрим этот подход поподробнее:
- Term Frequency (TF): частота термина в запросе
- Inverse Document Frequency (IDF): лучше всего описать формулой $idf(t) = \log \frac{N}{df(t)}$, где N - общее число описаний устройств, а знаменатель - число документов, содержащих термин t.
- TF-IDF: Произведение двух описанных подходов. Высокий вес получают те термины, что часто встречаются в конкретном запросе, но редко - в общем каталоге (например, “игровой”).

На выходе такого пайплайна запрос преобразуется в структурированный объект: {категория: "ноутбук", атрибуты: ["игровой", "подсветка RGB"], бюджет: 70000, ...}. В дальнейшем этот объект поступит на вход рекомендательной системы, рассмотренный ранее.

2. Анализ отзывов и генерация сводки

Здесь задача у разработчика меняется: теперь нужно проанализировать отзывы на товар и генерировать краткий список основных преимуществ и недостатков. Рассмотрим основные шаги для построения такой модели:

- Сбор и предобработка текста: парсинг отзывов, очистка от HTML-тегов, исправление опечаток.
- Анализ тональности на уровне аспектов. Является более сложной задачей, чем общий анализ. В ходе этого метода необходимо определить, какие именно аспекты товара упоминаются в отзыве и какова тональность каждого из этих упоминаний. (“подсветка яркая, в темноте видно клавиатуру” → аспект: “подсветка RGB”, тональность: “положительная”)
- Кластеризация и извлечение ключевых фраз: если отзывов много (что случается особо часто, если брать отзывы на маркетплейсах), то для выделения основных тем в отзывах могут использоваться методы кластеризации (к-средних на эм-

беддингах (векторных представлениях объекта с близкой семантической близостью), или алгоритмы ключевых фраз (YAKE, Rake). Полученные кластеры или фразы затем классифицируются по тональности.

Для минимизации вычислительной сложности на старте проекта (особенно если команда небольшая и нужно реализовать проект в краткие сроки), анализ отзывов может реализовываться более простыми методами. Это рассмотренное выделение частотных слов, а также n-граммы из разных сегментов отзывов (после их первоначальной грубой классификации по общей тональности). В перспективе же, для получения качественных аналитических сводок, переход на модели на основе трансформеров (BERT) будет практически необходим.

BERT-модели позволяют получать контекстные эмбединги, которые затем используются для классификации тональности, извлечения аспектов или суммаризации. Принцип у таких моделей представляет собой нейросетевой “трансформер”, обученный на задачах предсказания маскированных слов в предложении и предсказания следующего предложения. На выходе она формирует контекстно-зависимые представления для каждого слова (токена) в тексте.

Подводя итоги статьи, можно сделать вывод о том, что проект представляет собой комплексное приложение современных технологий для решения злободневной пользовательской проблемы экономия времени и финансов. Его ядро – три взаимосвязанных компонента со строгими математическими моделями и алгоритмах МО. Успех проекта будет зависеть не только от технической реализации каждого, но и от эффективной интеграции в единый, удобный для пользователя интерфейс. Развитие системы в перспективе показывает путь от минимально существующего продукта к полноценной интеллектуальной платформе для помощи в принятии решений при покупке технических устройств и может привести к расширению категорий товаров до бытовой техники, расширяя целевую аудиторию.

Список литературы

1. Анохина, И. В. Электронная коммерция: современное состояние и перспективы развития / И. В. Анохина // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 12. – С. 88–92.
2. Иванов, А. Ю. Методы принятия решений : учебное пособие / А. Ю. Иванов, В. И. Комашинский, Ю. В. Ясинская. – Санкт-Петербург, 2024.

3. Применение искусственного интеллекта для привлечения клиентов в социальных сетях: обзор российского и зарубежного опыта / Соколов А.В., Шуткин А.С., Епифанова Е.М., Попкова А.А., Бекларян А.Л., Барулина М.А. // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2025. № 1 (68). С. 118-144.

4. Волковский, К. М. Анализ существующих технологий искусственного интеллекта для использования в оптимизации бизнес-процессов / К. М. Волковский // Наука и технологии – 2025 : сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск, 2025. – С. 114-119.

References

1. Anokhina I.V. E-commerce: Current State and Development Prospects // Economy and Entrepreneurship. - 2021. - No. 12. - P. 88-92.

2. Ivanov A.Yu., Komashinsky V.I., Yasinskaya Yu.V. Decision-making methods : Study guide. – St. Petersburg, 2024.

3. Using artificial intelligence to attract customers in social networks: a review of Russian and foreign experience / Sokolov, A.V., Shutkin, A.S., Epifanova, E.M., Popkova, A.A., Beklaryan, A.L., Barulina, M.A. // Bulletin of Perm University. Mathematics. Mechanics. Computer Science. 2025. No. 1 (68). P. 118-144.

4. Volkovsky K.M. Analysis of existing artificial intelligence technologies for use in business process optimization // Science and Technology – 2025 : Collection of articles from the II International Scientific and Practical Conference. Petrozavodsk, 2025. Pp. 114-119.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОЛЛЕКТИВНОГО ОБМЕНА УЧЕБНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В СТУДЕНЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Я.Р. Чистяков¹, О.А. Авилова¹, С.В. Нетесова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются направления развития специализированной платформы для обмена конспектами и учебными материалами между студентами. Описаны практические улучшения системы: от базового хранения файлов к интеллектуальной образовательной среде с персональными рекомендациями и совместной работой над материалами.

Ключевые слова: информационная система, обмен учебными материалами, коллективное обучение, искусственный интеллект в образовании, цифровая образовательная среда.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR THE COLLECTIVE EXCHANGE OF EDUCATIONAL MATERIALS AMONG STUDENTS

Ya.R. Chistyakov¹, O.A. Avilova¹, S.V. Netesova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the development of a specialized platform for the exchange of notes and educational materials between students. Practical improvements to the system are described: from basic file storage to an intelligent educational environment with personal recommendations and collaboration on materials.

Keywords: information system, exchange of educational materials, collective learning, artificial intelligence in education, digital educational environment.

Введение

Современные системы коллективного обмена учебными материалами находятся на этапе становления как полноценного элемента образовательной

инфраструктуры. Если базовая версия платформы решает задачи структурированного хранения и поиска конспектов, то её дальнейшее развитие должно ориентироваться на создание адаптивной образовательной среды, способной предугадывать потребности обучающихся и персонализировать учебный процесс. В условиях цифровой трансформации высшего образования перспективы развития таких систем приобретают стратегическое значение для повышения качества самостоятельной работы студентов.

Технологические векторы развития

1. Умный поиск и сортировка материалов

Сейчас студент ищет конспект, набирая название дисциплины в поисковой строке. В будущем система сама предложит нужные материалы, ориентируясь на учебный план пользователя. Например, за неделю до экзамена по математическому анализу платформа напомнит: «У тебя скоро контрольная по интегралам. Вот три проверенных конспекта и подборка решённых задач». Для этого система будет анализировать расписание, оценки студента и популярность материалов среди одногруппников.

2. Помощь в создании качественного контента

Многие студенты не загружают свои конспекты, потому что не уверены в их качестве. Новая версия системы сможет помочь: при загрузке файла она предложит добавить недостающие метаданные (дисциплина, преподаватель, номер занятия), проверит текст на наличие ошибок и даже сравнит материал с другими конспектами по этой теме, чтобы избежать дублирования. Если в системе уже есть пять конспектов по лекции «Массивы в Python», а новый файл содержит уникальные примеры – система отметит это и поощрит автора.

3. Совместная работа в реальном времени

Представьте: перед экзаменом трое студентов одновременно открывают один конспект и дополняют его – кто-то добавляет схему, кто-то исправляет формулу, третий вставляет ссылку на полезное видео. Все изменения видны другим участникам сразу, как в Google Docs. Такой подход превращает пассивное потребление материалов в активное коллективное создание знаний. Особенно это полезно для подготовки к сложным предметам, где один человек редко помнит всё.

4. Защита от устаревшей информации

Конспект по программированию на Python, сделанный два года назад, может содержать устаревший синтаксис. Система будущего будет отмечать такие

материалы: при открытии файла появится предупреждение «Этот конспект создан в 2024 г. Проверьте актуальность примеров». Для этого платформа будет синхронизироваться с учебными планами вуза и получать уведомления об обновлении программ дисциплин.

5. Мотивация через признание

Чтобы студенты активно участвовали в наполнении системы, нужны не только «лайки». Предлагается ввести систему бейджей и рейтингов: «Эксперт по физике», «Лучший конспект месяца», «Помощник группы». Такие достижения можно будет отображать в профиле и учитывать при распределении стипендий или рекомендациях для научной работы. Главное – сделать вклад в общее знание престижным и заметным.

6. Выход за рамки одного вуза

Сейчас система ориентирована на студентов одного университета. В перспективе возможна межвузовская сеть: конспект по экономике лесного хозяйства из ВГЛТУ станет доступен студентам аналогичных специальностей в других лесотехнических вузах страны. Для этого потребуется единая система классификации дисциплин и механизм верификации качества материалов преподавателями.

Заключение

Развитие системы обмена учебными материалами – это переход от цифрового «ящика для файлов» к живому образовательному сообществу. Главная цель – не просто хранить конспекты, а помогать студентам учиться эффективнее за счёт коллективного опыта. Ближайшие шаги развития: умные рекомендации, совместное редактирование материалов и система мотивации участников. Дальнейшая перспектива – создание единой образовательной сети вузов, где лучшие учебные материалы становятся достоянием всего студенчества при сохранении авторских прав и академической честности.

Список литературы

1. Шилина, С. А. Новые коммуникационные поля современной молодежи в образовательном пространстве / С. А. Шилина, А. М. Шилин // Современная российская молодежь: ее социальная ответственность и потенциал в развитии страны : материалы XIX Международной научной конференции «Сорокинские чтения – 2025». – Москва, 2025. – С. 332-335.

2. Актуальные социально-экономические проблемы развития общества в России и за рубежом : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Волгоград; Саратов, 2024.

3. Национальные интересы и вопросы регионального развития в системе приоритетов международной деятельности российских университетов / Акишина А.А., Аникьева М.А., Антипина И.В., Апарина О.А., Арбатская Е.Н., Ашенкамф С.В., Башлы П.Н., Богуш А.И., Бочаров А.А., Буралева А.В., Гребенюк Е.В., Григорьев С.Г., Гришакова М.В., Долинина И.В., Дуйшеналиев Т.Б., Заботкина В.И., Ивер А.С., Извекова Т.Ф., Кислицын К.Н., Киянова Л.Д. и др. – Москва, 2021.

4. Наука, меняющая жизнь : сборник материалов национального научного форума магистрантов, аспирантов и молодых учёных. – Владивосток, 2025.

5. Закиров, А. Ф. Перспективы развития информационных систем на основе искусственного интеллекта / А. Ф. Закиров // Студенческий вестник. – 2024. – № 45-13 (331). – С. 15-16.

References

1. Shilina, S. A. New Communication Fields of Modern Youth in the Educational Space / S. A. Shilina, A. M. Shilin // Modern Russian Youth: Its Social Responsibility and Potential for National Development : Proceedings of the XIX International Scientific Conference "Sorokin Readings - 2025". – Moscow, 2025. – Pp. 332-335.

2. Current Socioeconomic Problems of Social Development in Russia and Abroad : Proceedings of the 6th All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. – Volgograd; Saratov, 2024.

3. National Interests and Regional Development Issues in the System of Priorities of International Activities of Russian Universities / Akishina A.A., Anikyeva M.A., Antipina I.V., Aparina O.A., Arbatskaya E.N., Ashenkampf S.V., Bashly P.N., Bogush A.I., Bocharov A.A., Buraleva A.V., Grebenyuk E.V., Grigoriev S.G., Gri-shakova M.V., Dolinina I.V., Duishenaliev T.B., Zabotkina V.I., Iver A.S., Izvekova T.F., Kislitsyn K.N., Kiyanova L.D. et al. – Moscow, 2021.

4. Life-Changing Science : Collection of materials from the national scientific forum of master's students, postgraduate students, and young scientists. – Vladivostok, 2025.

5. Zakirov, A. F. Prospects for the Development of Information Systems Based on Artificial Intelligence / A. F. Zakirov // Student Bulletin. – 2024. – No. 45-13 (331). – Pp. 15-16.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГРАФОВ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.В. Шпинева¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Данная статья предлагает подход к моделированию отказоустойчивости на основе теории графов, позволяющий формализовать топологию распределённой системы, выявлять критические узлы и каналы связи, а также оценивать структурную устойчивость сети, в сочетании с методами машинного обучения, применяемыми для прогнозирования отказов и раннего обнаружения деградации сервисов на основе эксплуатационных данных.

Ключевые слова: отказоустойчивость, распределённые системы, теория графов, машинное обучение, прогнозирование отказов, интеграция, сценарии деградации, моделирование, эксплуатационные данные, проактивное управление.

INFORMATION SYSTEM FAULT TOLERANCE MODELING USING GRAPHS AND MACHINE LEARNING

A.V. Spineva¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article offers an approach to graph theory-based fault tolerance modeling that allows formalizing the topology of a distributed system, identifying critical nodes and communication channels, and evaluating the structural stability of the network, combined with machine learning methods used to predict failures and early detection of service degradation based on operational data.

Keywords: fault tolerance, distributed systems, graph theory, machine learning, failure prediction, integration, degradation scenarios, modeling, operational data, proactive management.

Современные распределённые системы – быстрые, но хрупкие

Современные распределённые информационные системы – например, облачные платформы и базы данных – работают шустро и эффективно. Но у них

есть слабое место: они очень чувствительны к сбоям отдельных компонентов. Отказоустойчивость – это когда система продолжает работать и держит качество, даже если какие-то её части (железо, софт или сеть) вышли из строя.

Практика показывает: отказы узлов, перегрузка каналов и постепенная деградация сервисов могут серьёзно подорвать доступность системы и нарушить согласованность данных. Старые методы повышения надёжности – типа избыточности и статического восстановления – не всегда спасают в условиях, когда топология меняется, а нагрузки непредсказуемы. Поэтому нужны более гибкие, динамичные модели.

Как помогают теория графов и машинное обучение

Теория графов позволяет представить распределённую систему в виде картинки: узлы – это вычислительные элементы или сервисы, а рёбра – связи между ними. С помощью графовых метрик можно понять, какие элементы самые уязвимые и где могут возникнуть точки отказа. Но у этого подхода есть минус – он игнорирует динамику изменений внутри системы.

Методы машинного обучения, наоборот, умеют предсказывать отказы или деградацию сервисов, анализируя данные о работе системы. Если объединить графовые модели с машинным обучением, можно построить интеллектуальные системы, которые подстраиваются под меняющиеся нагрузки и работают в условиях неопределённости.

Цель статьи – разработать такую модель отказоустойчивости, которая скрещивает теорию графов и машинное обучение. Она должна анализировать устойчивость и прогнозировать деградацию сервисов.

Почему оценка отказоустойчивости – это сложно

Оценить отказоустойчивость распределённых систем непросто. У них много уровней, компоненты сильно зависят друг от друга, а сами отказы случаются случайно. В нашем исследовании под отказоустойчивостью мы понимаем способность системы сохранять связность и работать, даже если ломаются узлы, каналы связи или сервисы.

Главная сложность – нужно учитывать и топологию сети, и динамику нагрузок, и эксплуатационные параметры. Обычные аналитические и эвристические методы здесь уже не работают.

Отдельная головная боль – предсказывать отказы узлов, глядя на структуру системы. Графовые модели описывают структуру, но статический анализ не видит, как меняются состояния узлов во времени и как накапливаются дефекты. Это снижает точность оценки отказоустойчивости.

Кроме того, важно уметь предсказывать деградацию сервисов – когда система формально работает, но её производительность или доступность уже за пределами нормы. Такие состояния часто идут впереди полных отказов. Если их вовремя заметить, можно сократить время восстановления.

Задача исследования – создать модель, которая учитывает и структуру, и динамику, используя машинное обучение для прогнозирования отказов и деградации. Это позволит перейти к проактивному управлению рисками и сделает прогнозы точнее.

Как мы ставили эксперименты

Чтобы проверить нашу методику, мы взяли и синтетические, и реальные данные. Они имитировали работу системы с большим числом узлов и сервисов. Топологию мы представили в виде взвешенного графа: вершины – узлы, рёбра – связи между ними. Это позволило анализировать устойчивость через графовые метрики – связность, центральность и так далее.

Теория графов формализует структуру, но не учитывает временную динамику и случайные отказы. Поэтому мы добавили методы машинного обучения. В исследовании использовались классификационные модели – они предсказывают отказы на основе графовых признаков и временных рядов эксплуатационных метрик. Обученные модели прогнозируют не только текущее состояние, но и развитие аварийных сценариев. Это позволяет управлять отказоустойчивостью на опережение: перераспределять нагрузку и включать резервы [1].

Методика оценки отказоустойчивости узлов объединяет графовый анализ и прогнозные данные. В итоге получается показатель, который учитывает и структурную важность узла, и вероятность его отказа. Это помогает точнее определять критические узлы и лучше управлять отказами в динамичной среде.

Предложенный подход уже проверили на реальных системах – базах данных и облачных платформах. Там отказоустойчивость зависит не только от резервирования, но и от того, насколько эффективно компоненты взаимодействуют друг с другом.

Что именно мы делали в экспериментах

Для экспериментов мы взяли синтетические и реальные данные, которые моделировали большую систему с множеством узлов и сервисов. Топологию задавали как взвешенный граф – он отражал особенности облачных инфраструктур и распределённых баз данных: с высоконагруженными узлами и запасными каналами. Эксплуатационные данные включали временные ряды метрик: загрузку процессора, потребление памяти, сетевые задержки, частоту ошибок. Это позволяло учитывать динамику работы системы.

Сценарии моделирования были разными:

- одиночные и групповые отказы узлов;
- деградация сервисов (задержки растут, пропускная способность падает).

Мы фиксировали изменения топологии, связности и агрегированные метрики качества обслуживания [3].

Как мы считали отказоустойчивость

Расчёт делали в два этапа.

Первый этап – статический анализ графа: вычисляли структурные характеристики узлов.

Второй этап – запускали модели машинного обучения. Они предсказывали вероятность отказов или деградации узлов на основе текущих и исторических данных.

Затем мы объединяли прогнозы с результатами графового анализа и получали итоговый показатель отказоустойчивости. Он сопоставляет структурную уязвимость узла с реальным риском отказа.

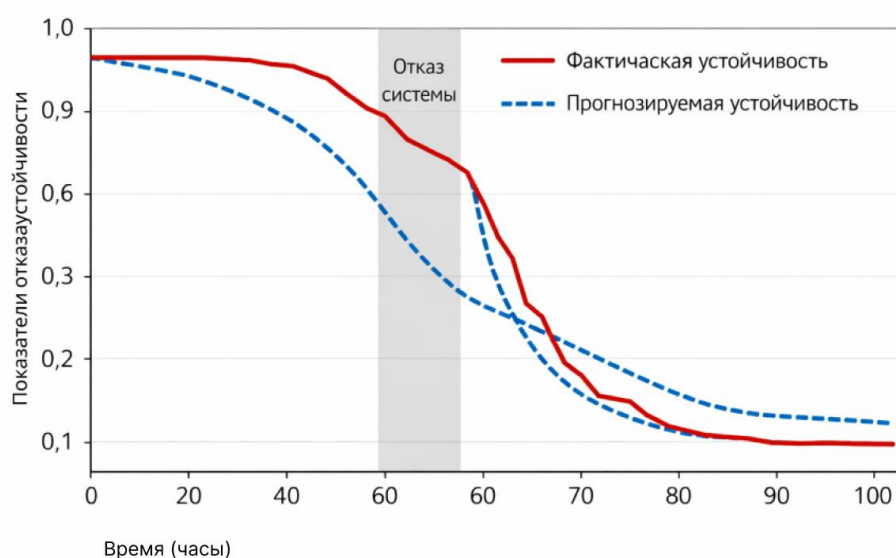


Рисунок 1 – Динамика показателей отказоустойчивости во времени

Что нам показали результаты

Результаты расчётов показали: интегрированная модель точнее находит критические элементы системы, чем методы, которые опираются только на анализ топологии. Узлы с высокой центральностью, но стабильными характеристиками, имели более низкий риск, чем узлы на периферии, у которых были признаки деградации. Это подтверждается расхождением между ранжированием узлов по структурным метрикам и по интегральному показателю отказоустойчивости. Значит, учитывать динамические данные очень важно.

Графики зависимости показателей отказоустойчивости от времени показали: снижение прогнозируемой устойчивости происходит до того, как случаются реальные отказы. Это значит, что критические состояния можно обнаружить заранее. Диаграммы распределения вероятности отказов показывают, что риски сконцентрированы в нескольких узлах – отказ именно этих узлов может вызвать каскадные сбои [2].

Анализ деградации сервисов подтвердил: методика выявляет предкритические состояния, которые традиционные методы мониторинга просто не замечают. Мы обнаружили корреляцию – чем ниже показатель отказоустойчивости, тем выше задержки. Это значит, что модель вполне подходит для проактивного управления и планирования превентивных мер.

В целом, объединение теории графов и машинного обучения даёт более точную оценку отказоустойчивости распределённых систем. Предложенный подход может стать основой для дальнейших исследований и практического внедрения.

Обсуждаем результаты

Эксперименты подтвердили высокую точность и надёжность нашей методики. Интеграция графового анализа и машинного обучения повысила точность оценки по сравнению с традиционными методами, которые полагаются только на статические метрики. Методика работает стабильно при разных параметрах системы и сценариях отказов – значит, её можно применять к разным распределённым архитектурам.

Сильная сторона подхода – его системность. Он учитывает и структурную значимость узлов, и их текущее (и прогнозируемое) состояние. Графы плюс машинное обучение помогают выявлять потенциальные точки отказа и адаптивно их предсказывать на основе реальных данных эксплуатации. Это снижает количество ложных срабатываний.

Но есть и минусы. Методика требует много вычислительных ресурсов: нужно рассчитывать графовые характеристики и периодически переобучать модели. Это может ограничить её применение в системах с жёсткими требованиями к задержкам.

Прогнозирование отказов и предкритических состояний особенно ценно для систем реального времени. Проблемы с качеством данных (пропуски, задержки) мы решали с помощью предварительной обработки. Если архитектура системы меняется, модели нужно обновлять – для этого требуется инкрементальное обучение.

Заключение

В ходе исследования мы разработали методику моделирования отказоустойчивости распределённых систем на основе интеграции теории графов и машинного обучения. Что получилось.

Графовое представление топологии помогает выявлять критические узлы и оценивать уязвимость к каскадным отказам.

Машинное обучение обеспечивает адаптивное прогнозирование отказов и деградации на основе эксплуатационных данных.

Сочетание этих двух подходов повышает точность оценки отказоустойчивости, потому что учитывает и статические, и динамические аспекты.

Практическая польза в том, что метод можно встроить в системы мониторинга и управления распределёнными средами – облачными платформами и базами данных. Он позволяет перейти от реактивного управления (реагируем на отказ) к проактивному (предотвращаем отказ, потому что рано заметили предкритическое состояние). Чтобы эффективно внедрить методику, нужно адаптировать модель под конкретную архитектуру, обеспечить высокое качество данных и использовать устойчивые алгоритмы машинного обучения.

Список литературы

1. Математическое моделирование отказоустойчивости информационных систем / А. И. Голева, Н. Р. Стороженко, В. И. Потапов, О. П. Шафеева // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 33-45. – DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-4-5-33-45. – EDN POKCRJ.

2. Алмали, А. А. Л. Анализ надежности распределенных информационных систем в условиях воздействия внешних угроз: комплексный обзор литературы / А. А. Л. Алмали // Вестник современных цифровых технологий. – 2025. – № 22. – С. 45-53. – EDN SVXOSL.

3. Перцев, А. А. Моделирование нагрузки работы информационной системы / А. А. Перцев, А. Н. Подобрий, И. И. Халиков // Автоматизация процессов управления. – 2025. – № 2(80). – С. 79-89. – DOI 10.35752/1991-2927_2025_2_80_79. – EDN BHKLLKL.

References

1. Mathematical modeling of information systems fault tolerance / A. I. Goleva, N. R. Storozhenko, V. I. Potapov, O. P. Shafeeva // Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information Technology. – 2019. – Vol. 17, No. 4. – pp. 33-45. – DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-4-5-33-45. – EDN POKCRJ.

2. Almali, A. A. L. Reliability analysis of distributed information systems under the influence of external threats: a comprehensive review of the literature / A. A. L. Almali // Bulletin of Modern Digital Technologies. – 2025. – No. 22. – pp. 45-53. – EDN SVXOSL.

3. Pertsev, A. A. Information system load modeling / A. A. Pertsev, A. N. Podobri, I. I. Khalikov // Automation of control processes. – 2025. – № 2(80). – Pp. 79-89. – DOI 10.35752/1991-2927_2025_2_80_79. – EDN BHKLLKL.

ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

А.Н. Шульгина¹, О.В. Оксюта¹, И.С. Кущева¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе анализируются технологии, являющиеся решением сложной ресурсоемкой задачи, заключающейся в обработке больших объемов информации в режиме реального времени. Рассмотрены достоинства и недостатки применения высокопроизводительного мониторингового серверного коммутатора Apache Kafka для работы с потоковыми данными.

Ключевые слова: обработка информации, управление базой данных, режим реального времени, принятие решений, потоковые данные.

REAL-TIME DATA MANAGEMENT TECHNOLOGIES

A.N. Shulgina¹, O.V. Oksyuta¹, I.S. Kushcheva¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies Named after G.F. Morozov

Abstract. The paper analyzes technologies that are a solution to a complex resource-intensive task, which is processing large amounts of information in real time. The advantages and disadvantages of using a high-performance monitoring server switch Apache Kafka for working with streaming data are considered.

Keywords: information processing, database management, real-time mode, decision-making, streaming data

Введение

В настоящее время анализ больших объемов информации, поступающей пакетными партиями в потоке, является сложной ресурсоемкой задачей, решение которой должно соответствовать современным требованиям обработки данных в режиме реального времени [1, 2].

На сегодняшний день, как пользователи различных категорий, так и инновационный бизнес [3, 4] стремятся использовать способы оперативного принятия решения на основе анализа и обработки больших объемов данных в режиме реального времени (РВ). Такой подход позволяет сократить расходы и увеличить производительность, способствует эффективному распределению ресурсов, дает возможность получать адекватное планирование. В ответ на спрос на технологии потоковой обработки данных появляются новые продукты и решения [5].

Приложения для работы с данными в режиме реального времени

Аналитика информации в реальном времени может быть реализована 3-мя способами: с помощью потоковой передачи, OLAP-СУБД реального времени. Все эти варианты работают с потоками–последовательностями событий/элементов данных, которые непрерывно во времени генерируются различными источниками, такими как IoT-датчики, события пользовательского поведения на сайтах и в мобильных приложениях, действия в соцсетях и т.д. Потоковая обработка включает в себя непрерывный сбор, вычисления и доставку данных в виде событий или сообщений.

Эти технологии не просто получают данные в режиме реального времени, но и могут анализировать их, применяя надежные стратегии обработки запаздывающих событий. При реальном применении, когда дело доходит до сохранения состояния, stateful-приложения и потоковые базы данных ведут себя по-разному.

В первом случае, благодаря предварительному сохранению информации о прошлых событиях и состояниях SQL-запросы выполняются быстрее и с меньшими затратами, но периодически возникает необходимость перераспределения данных. Сами запросы могут быть высокого уровня сложности и рассматриваются не изолировано, а комплексно относительно предыдущих действий.

Во втором случае в первую очередь рассматриваются запросы, а не события. Потоковые базы данных работают непрерывно и не предназначены для сложной аналитики. Обработка информации идет по мере поступления в зависимости от времени получения практически мгновенно.

Многие СУБД, как пакетные, так и потоковые, поддерживают хранение состояния с автоматическими обновлениями.

На IT рынке представлены приложения с обработкой информации в режиме РВ, использующие для анализа или принятия решений постоянно обновляемые параметры.

Так на крупных предприятиях для работы с большими данными можно использовать высокопроизводительный мониторинговый серверный коммутатор Apache Kafka, предназначенный обрабатывать значительные объемы информации в единицу времени без ожидания.

Основная логика работы системы заключается в следующем. Информация поступает в виде отдельных событий, представляющих собой единичные сообщения и группирующихся по отдельным темам (топикам) с помощью определенных сервисов (производителей). Производители отвечают за генерацию и передачу данных в систему Kafka в подходящую тему. Топик можно рассматривать как логическую категорию или очередь, объединяющую данные по определенному признаку. Любая тема может быть разбита на отдельные секции (партиции), что дает возможность масштабировать систему вширь и увеличивать ее производительность.

Кроме этого, есть компоненты (потребители), подключающиеся к нужному топiku и извлекающие опубликованные сообщения согласно поступившему запросу. Потребители также как и события могут объединяться в группы (Consumer Groups), что позволяет распределять нагрузку на систему и как следствие, способствует лучшему управлению параллельной обработкой больших объемов данных.

Отдельно функционируют серверы (брокеры), объединенные в кластер Kafka, выполняют функции хранения, обработки и администрирования сообщений. Такое разделение существенно улучшает общую производительность и надежность системы.

Благодаря распределению функций преимуществами Kafka являются:

- Масштабируемость, заключающаяся не только в простоте расширения инфраструктуры путем простого добавления новых узлов, но в возможности обрабатывать большие объемы данных и одновременно работать с несколькими пользователями.
- Интеграция с другими системами и инструментами, включая BI-платформы и прикладные системы.
- Производительность, заключающаяся в скорости выполнения запросов, объеме обрабатываемых данных в единицу времени и способности долго хранить необходимые сведения.

– Безопасность, представляющая собой различные политики управления пользователями и контроля доступа к данным, алгоритмы шифрования, криптографические протоколы, на основе чего достигается исключительная отказоустойчивость.

– Простота эксплуатации, в т.ч. пользовательский интерфейс, документацию и ресурсы поддержки

Этот решение актуально именно для крупных проектов, поскольку сложность внедрения Kafka не компенсируется получаемыми преимуществами и соответственно не приносит ощутимой выгоды при небольших объёмах данных. При меньших нагрузках проще и рациональнее использовать брокеры вроде RabbitMQ, которые обеспечивают базовую функциональность без лишней сложности.

Заключение

Таким образом, в зависимости от сложности и объема обработки информации в режиме реального времени есть разные способы и технологии. Для больших данных, быстро меняющихся во времени, имеется надежное решение – Kafka, обеспечивающее стабильную передачу и обработку потоковых данных между сервисами в режиме реального времени. Будучи распределенным брокером, он функционирует на кластере серверов, которые одновременно получают, сохраняют и обрабатывают сообщения. Для менее сложных задач есть другие технологические решения.

Список литературы

1. Арбатов, Д. К. Анализ предметной области высоконагруженных приложений обработки потоков данных в режиме реального времени / Д. К. Арбатов // Научный аспект. – 2024. – Т. 38, № 1. – С. 4993-5000. – EDN XVDBZE.

2. Матерухин, А. В. Проблематика создания ГИС на основе систем управления потоками данных / А. В. Матерухин // Геодезия и картография. – 2017. – Т. 78, № 4. – С. 44-47. – DOI 10.22389/0016-7126-2017-922-4-44-47. – EDN YPQFGX.

3. Арапов, Д. В. Автоматизированная мобильная система принятия решений для использования в специальной медицине / Д. В. Арапов, В. А. Курицын, С. А. Скоробогатов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13. – EDN CMPART.

4. Сумин, В. И. Использование ситуационного моделирования в разработке систем принятия решений для сложных организационных систем / В. И. Сумин, А. С. Кравченко, А. В. Толкачев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

5. Калач, А. В. О возможностях применения метода почти-периодического анализа для обработки изображений / А. В. Калач, А. А. Парамонов, С. Л. Сахаров // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV.

References

1. Arbatov, D. K. Scientific aspect Analysis of the subject area of high-load data flow processing applications in real time / D. K. Arbatov // The scientific aspect. – 2024. – Т. 38, № 1. – P. 4993-5000. – EDN XVDBZE.

2. Materukhin, A.V. Problems in the development of gis based on data stream management systems / A. B. Materukhin // Geodesy and Cartography. – 2017. – Т. 78, № 4. – P. 44-47. – DOI 10.22389/0016-7126-2017-922-4-44-47. – EDN YPQFGX.

3. Arapov, D. V. Automated mobile acceptance system solutions for use in special medicine / D. V. Arapov, V. A. Kuritsyn, S. A. Skorobogatov // Modeling of systems and processes. – 2024. – V. 17, No 3. – P. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-5-13. – EDN CMPAPT.

4. Sumin, V.I. The use of situational modeling in the development of decision-making systems for complex organizational systems / V.I. Sumin, A.S. Kravchenko, A.V. Tolkachev // Modeling of systems and processes. – 2024. – V. 17, No 3. – P. 71-79. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-69-77. – EDN FBBHJO.

5. Kalach, A. V. On the possibilities of using the method of near-periodic analysis for image processing / A. V. Kalach, A. A. Paramonov, S. L. Sakharov // Modeling of systems and processes. – 2024. – V. 17, No 3. – P. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN HKBSAV.

СЕКЦИЯ 3
СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

DOI: 10.58168/MIST2026_1271-1275

УДК 004

**РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

А.В. Алфимов¹, О.А. Авилова¹, И.Е. Ягодкина¹, Г.И. Будовская¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматривается разработка информационной системы для определения и верификации рабочих характеристик электронных компонентов на основе результатов схемотехнического, функционального и временного моделирования. Актуальность работы обусловлена необходимостью формализованной и воспроизводимой проверки параметров электронной компонентной базы в условиях ограниченного доступа к зарубежной технической документации и возрастанием трудоёмкости ручного анализа результатов моделирования. Предлагаемое решение ориентировано на извлечение параметров из данных симуляции, их сопоставление с заданными требованиями и формирование структурированных отчётов для анализа, подбора и замены компонентов при проектировании электронных устройств.

Ключевые слова: информационная система, электронные компоненты, рабочие характеристики, моделирование и симуляция, параметрическая верификация.

**DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM
FOR DETERMINING OPERATING CHARACTERISTICS
OF ELECTRONIC COMPONENTS**

A.V. Alfimov¹, O.A. Avilova¹, I.E. Yagodkina¹, G.I. Budovskaya¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper addresses the development of an information system for determining and verifying the operating characteristics of electronic components based on the results of circuit-level, functional, and timing modeling. The relevance of the work is driven by the need for a formalized and reproducible verification of electronic component base parameters under limited access to foreign technical documentation, as well as by the increasing labor intensity of manual analysis of simulation

results. The proposed solution focuses on extracting parameters from simulation data, comparing them with specified requirements, and generating structured reports for the analysis, selection, and replacement of components in electronic device design.

Keywords: information system, electronic components, operating characteristics, modeling and simulation, parametric verification.

Развитие современной электронной промышленности сопровождается усложнением процессов проектирования и анализа электронных устройств, что связано с ростом номенклатуры используемых электронных компонентов и повышением требований к надёжности принимаемых инженерных решений. В условиях ограниченного доступа к зарубежной электронной компонентной базе и сопровождающей её технической документации особую значимость приобретает задача подтверждения параметров компонентов при их подборе, замене и применении в конкретных схемотехнических условиях. Одним из ключевых источников информации для такого анализа становятся результаты схемотехнического, функционального и временного моделирования.

Современные CAD- и EDA-среды предоставляют развитые средства моделирования электронных устройств, однако получаемые в ходе симуляции данные, как правило, используются фрагментарно и требуют значительных трудозатрат на ручной анализ и интерпретацию. Процедуры извлечения параметров компонентов и проверки их соответствия требованиям проекта часто выполняются неформализованно, что снижает воспроизводимость результатов и повышает риск принятия субъективных инженерных решений.

На практике анализ результатов моделирования одного электронного компонента может включать десятки параметров и множество значений, полученных в различных режимах симуляции. Для цифровых компонентов это, как правило, временные задержки, уровни логических сигналов и потребляемая мощность, для аналоговых – вольтамперные характеристики, коэффициенты усиления и частотные параметры. При отсутствии специализированных средств значительная часть работы по отбору, сопоставлению и интерпретации таких данных выполняется вручную, что увеличивает трудоёмкость анализа и затрудняет повторное использование полученных результатов.

При выполнении измерений и оценке параметров электронных компонентов в инженерной практике используются нормативные документы, регламентирующие требования к обеспечению и контролю качества изделий электронной техники. В частности, в ГОСТ Р 55753-2013 акцентируется необходимость доку-

ментирования процедур контроля, фиксации используемых методик и обеспечения воспроизводимости результатов проверок на этапах разработки и производства.

При использовании моделирования и симуляции выполнение данных требований на практике связано с обработкой значительных массивов расчётных данных и необходимостью их привязки к конкретным условиям анализа. Отсутствие формализованных инструментов приводит к тому, что документирование параметров и результатов проверки выполняется вручную и не всегда обеспечивает требуемую прослеживаемость. Это определяет потребность в программных средствах, позволяющих структурировать перечень параметров, условия их определения и результаты сопоставления с заданными требованиями.

В этих условиях актуальной становится разработка специализированного программного инструмента, ориентированного не на моделирование как таковое, а на последующую параметрическую верификацию электронных компонентов по результатам уже выполненных расчётов и симуляций. Такой инструмент должен обеспечивать структурированный подход к извлечению параметров компонентов, их сопоставлению с заданными критериями и фиксации результатов в виде отчётов, пригодных для повторного анализа и документального сопровождения проектных решений. Это особенно важно при работе с альтернативными или отечественными компонентами, для которых справочные данные могут быть неполными или не учитывающими конкретные режимы применения.

В рамках данной работы под рабочими характеристиками электронного компонента понимается набор параметров, определяемых по результатам моделирования в заданных схемотехнических условиях и используемых для оценки его применимости в составе электронной схемы. Верификация параметров рассматривается как формализованная процедура сопоставления вычисленных значений этих характеристик с допустимыми диапазонами, заданными требованиями проекта или методикой анализа.

Разрабатываемый в рамках проекта программный продукт *Parameter Verification Layer (PVL)* ориентирован на реализацию формализованной процедуры параметрической верификации. С точки зрения организации вычислительного процесса PVL рассматривается как информационная система постобработки результатов моделирования, включающая подсистемы загрузки и интерпретации входных данных, формирования параметрических профилей компонентов и генерации отчётов о соответствии. Такой подход позволяет перенести

значительную часть рутинных аналитических операций из области индивидуальной инженерной интерпретации в программно формализованную среду.

Особенностью предлагаемого решения является ориентация на использование универсальных форматов представления данных моделирования, что обеспечивает независимость PVL от конкретных CAD- и EDA-платформ. Это позволяет включать продукт в существующие рабочие процессы в качестве дополнительного этапа анализа без необходимости замены используемых средств проектирования. Взаимодействие с вышеупомянутыми средами осуществляется опосредованно – через импорт результатов симуляции в универсальных форматах, что позволяет использовать систему в составе существующих рабочих процессов без прямой интеграции в средства моделирования.

Ожидаемый эффект от применения PVL заключается в снижении трудоёмкости анализа результатов моделирования, повышении воспроизводимости принимаемых инженерных решений и уменьшении зависимости от неформализованных процедур проверки параметров. Формирование структурированных отчётов о соответствии параметров компонентов заданным требованиям упрощает как внутреннюю инженерную экспертизу, так и документирование результатов проектирования, обеспечивая более управляемый процесс разработки электронных устройств в условиях модернизации и замещения компонентной базы.

Список литературы

1. Гребнев, Я. В. Разработка методов, моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на северных и арктических территориях / Я. В. Гребнев : дис. ... канд. техн. наук ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого". – Санкт-Петербург, 2023.
2. Мутусханов, И. С. Формирование готовности будущих менеджеров к участию в управлении проектами / И. С. Мутусханов : дис. ... канд. пед. наук ; Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова (Грозный). – Грозный, 2023.
3. Чугунов, А. В. Электронное участие как фактор динамики политического процесса и процесса принятия государственных решений. Отчет о НИР № 18-18-00360. Российский научный фонд. 2020.

4. Разработка концепции, модели и архитектуры киберфизического окружения палат в стационарных учреждениях социального и медицинского обслуживания. Отчет о НИР № 22-71-10092. Российский научный фонд. 2022.

5. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР проектировании микросхем / А. В. Полуэктов, Д. В. Шеховцов, И. В. Скоркин, П. А. Чубунов // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71–80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

References

1. Grebnev Ya. V. Development of Methods, Models, and Algorithms for Intelligent Support of the Emergency Prevention and Response System in the Northern and Arctic Territories : Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences ; Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University". – Saint Petersburg, 2023.

2. Mutus Khanov I. S. Developing the Readiness of Future Managers to Participate in Project Management : Dissertation for the Degree of Candidate of Pedagogical Sciences ; Chechen State University named after A. A. Kadyrov (Grozny). – Grozny, 2023.

3. Chugunov A. V. Electronic Participation as a Factor in the Dynamics of the Political Process and the Process of Public Decision-Making. Research Report No. 18-18-00360. Russian Science Foundation. 2020.

4. Development of the Concept, Model, and Architecture of the Cyber-Physical Environment of Wards in Inpatient Social and Medical Care Institutions. Research Report No. 22-71-10092. Russian Science Foundation. 2022.

5. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtuoso environment and improving the intellectual properties of the CAD system for microcircuit design / A. V. Poluektov, D. V. Shekhovtsov, I. V. Skorkin, P. A. Chubunov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – P. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА НАДЁЖНОСТИ ЛОГИЧЕСКОГО КОМБИНАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

Л.С. Бычук¹, О.А. Авилова¹, А.С. Ягодкин¹

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация: В работе рассматривается разработка информационной системы анализа надёжности логического комбинационного устройства на основе формализованной оценки отказов логических элементов и их влияния на корректность функционирования схемы. Актуальность работы обусловлена ростом сложности цифровых устройств, увеличением плотности интеграции и необходимостью обеспечения достоверной оценки надёжности на ранних этапах проектирования без привлечения дорогостоящих натурных испытаний. Предлагаемое решение ориентировано на автоматизированный анализ структуры комбинационной логики, расчёт показателей надёжности с учётом вероятностей отказов элементов и формирование структурированных отчётов, используемых при оптимизации схемных решений и выборе элементной базы.

Ключевые слова: информационная система, надёжность, логическое комбинационное устройство, анализ отказов, логические элементы, цифровые схемы, оценка надёжности, автоматизация анализа.

DEVELOPMENT OF A RELIABILITY ANALYSIS SYSTEM FOR A LOGICAL COMBINATIONAL DEVICE

L.S. Bychuk¹, O.A. Avilova¹, A.S. Yagodkin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract: This paper discusses the development of an information system for analyzing the reliability of logical combinational devices based on a formalized assessment of logic element failures and their impact on the correct functioning of the circuit. The relevance of the work is due to the increasing complexity of digital devices, the increase in integration density, and the need to ensure reliable reliability assessment at early stages of design without resorting to costly field tests. The proposed solution is focused on automated analysis of the combinational logic structure, calculation

of reliability indicators taking into account the probabilities of element failures, and the formation of structured reports used in the optimization of circuit solutions and the selection of the element base.

Keywords: information system, reliability, logic combinational device, failure analysis, logic elements, digital circuits, reliability assessment, analysis automation.

Цифровые электронные устройства становятся всё сложнее. Логических схем и элементов в них всё больше, и это напрямую сказывается на надёжности комбинационных устройств. Технологические нормы снижаются, степень интеграции растёт – и схемы начинают болезненно реагировать на отказы отдельных элементов. Один элемент сломался, и вся логическая функция исказилась, система работает неправильно. В таких условиях анализ надёжности становится особенно важным. Ошибки, которые не поймали на этапе проектирования, потом вылезут функциональными и экономическими потерями – и на поздних стадиях жизни изделия это может дорого обойтись.

Традиционно надёжность оценивают тремя способами. Экспериментальные методы, статистика эксплуатации или моделирование отказов на уровне физических процессов. Всё это требует много времени и вычислительных ресурсов. Для комбинационных устройств, которые входят в более сложные цифровые системы, такие подходы слишком громоздки и плохо подходят для раннего проектирования – когда схема ещё может сто раз поменяться.

Анализ, как правило, выполняется вручную либо с использованием специализированных расчётных скриптов, что затрудняет масштабирование решений и повторное использование результатов при модификации схемы. Отсутствие формализованного инструментария приводит к фрагментарности анализа и снижает воспроизводимость оценок надёжности при проектировании комбинационных устройств.

В этих условиях актуальной становится разработка специализированной информационной системы, ориентированной на анализ надёжности логических комбинационных устройств на уровне их логической структуры. Такая система должна обеспечивать формализованное представление схемы, автоматизированный учёт отказов логических элементов и оценку их влияния на выходные функции устройства. Использование программно реализованного подхода позволяет снизить трудоёмкость анализа, повысить точность расчётов и обеспечить единый методический базис для принятия инженерных решений на этапе проектирования цифровых схем.

В рамках данной работы под надёжностью логического комбинационного устройства понимается способность схемы сохранять корректность реализуемой

логической функции при наличии отказов отдельных элементов в заданных условиях эксплуатации. Анализ надёжности рассматривается как процедура вычислительной оценки вероятности корректной работы выходов устройства с учётом структуры логических связей и характеристик надёжности используемых элементов. Такой подход позволяет формализовать процесс оценки надёжности и использовать его в составе автоматизированных средств поддержки проектирования цифровых устройств.

Разрабатываемая информационная система ориентирована на реализацию указанного подхода и рассматривается как программный инструмент постобработки описаний логических комбинационных устройств. Система обеспечивает загрузку структурного представления схемы, формирование модели отказов логических элементов и расчёт показателей надёжности выходных функций на основе заданных исходных данных. Результаты анализа представляются в структурированном виде, что позволяет использовать их для сравнения альтернативных схемных решений, оптимизации структуры устройства и обоснованного выбора элементной базы.

Особенностью предлагаемого решения является ориентация на независимость от конкретных средств логического проектирования и языков описания аппаратуры. Взаимодействие системы с внешними CAD- и EDA-инструментами предполагается через импорт формализованных описаний структуры комбинационных схем в универсальных форматах, что обеспечивает возможность включения анализа надёжности в существующие рабочие процессы без модификации используемых средств проектирования. Такой подход позволяет применять систему как дополнительный этап анализа при разработке цифровых устройств различного уровня сложности.

Ожидаемый эффект от применения разрабатываемой системы заключается в повышении обоснованности решений, принимаемых при проектировании логических комбинационных устройств, и снижении риска функциональных ошибок, связанных с отказами логических элементов. Формирование формализованных результатов анализа надёжности упрощает документирование проектных решений и обеспечивает возможность повторного использования полученных данных при модификации схемы или адаптации устройства к иным условиям эксплуатации.

Список литературы

1. ГОСТ Р 55753-2013. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники. Требования к обеспечению и контролю качества. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 64 с.
2. Синтез схемы встроенного контроля для многовыходных комбинационных устройств на основе логического дополнения и сжатия сигналов. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т. 63. № 7. С. 583-599.
3. Синтез полностью самопроверяемых схем встроенного контроля на основе полиномиальных кодов для комбинационных логических устройств. Абдуллаев Р.Б. Автоматика на транспорте. 2021. Т. 7. № 3. С. 452-476.
4. Схема коррекции сигналов для комбинационных устройств автоматики на основе логического дополнения с контролем вычислений по паритету. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Информатика. 2020. Т. 17. № 2. С. 71-85.

References

1. GOST R 55753-2013. Integrated quality control system. Electronic products. Requirements for quality assurance and quality control. – Moscow : Standartinform, 2013. – 64 p.
2. Synthesis of an Embedded Control Circuit for Multi-Output Combinational Devices Based on Logical Complementation and Signal Compression. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov Vl.V., Efanov D.V. News of Higher Educational Institutions. Instrument Engineering. 2020. Vol. 63, No. 7, pp. 583-599.
3. 3. Synthesis of Fully Self-Checking Embedded Control Circuits Based on Polynomial Codes for Combinational Logical Devices. Abdullaev R.B. Automation in Transport. 2021. Vol. 7, No. 3, pp. 452-476.
4. 4. Signal Correction Circuit for Combinational Automatic Devices Based on Logical Complementation with Parity Calculation Control. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov Vl.V., Efanov D.V. Computer Science. 2020. T. 17. No. 2. P. 71-85.

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ СИСТЕМ ДЛЯ ПРОГНОЗИРУЕМОГО МОНИТОРИНГА МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Д.С. Дроздов¹, О.А. Авилова¹, Д.М. Охрименко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе обзревается разработка системы для мониторинга электронных компонентов в реальном времени. Исследуется архитектура системы. Проводится анализ рынка и конкурентов, которые так же занимаются разработкой систем мониторинга.

Ключевые слова: прогнозируемый мониторинг, микроэлектронные компоненты, анализ систем, прогнозирование отказов, аппаратно-программный комплекс.

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF SYSTEMS FOR PREDICTABLE MONITORING OF MICROELECTRONIC COMPONENTS

D.S. Drozdov¹, O. A. Avilova¹, D.M. Ohrimenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This paper reviews the development of a system for real-time monitoring of electronic components. The system's architecture is studied. An analysis of the market and competitors developing monitoring systems is provided.

Keywords: predictive monitoring, microelectronic components, systems analysis, failure prediction, hardware-software complex.

Повышение надёжности и времени работы электронной аппаратуры на предприятиях, которые полностью построены на них, требует перехода от методов обслуживания уже после произошедших сбоев к прогнозу этих ошибок. Стандартные подходы, основанные на плановых ремонтах или диагностике после отказа, не обеспечивают необходимой эффективности в условиях роста

сложности электронных систем. Решение этой задачи связано с разработкой систем мониторинга, использующих датчики и анализ при помощи машинного обучения для прогнозирования деградации компонентов.

Предлагаемая система состоит из нескольких вычислительных компонентов связанных друг с другом для решения требуемых задач. Аппаратная часть включает сеть измерительных модулей с датчиками температуры, напряжения и тока, устанавливаемых на контролируемые платы. Программная платформа реализует полный цикл обработки данных: от сбора телеметрии до визуализации результатов.

Главное тут – специальные алгоритмы, которые обучены анализировать данные во времени. Они выцепляют скрытые закономерности и тренды, так что можно предсказать поломку задолго до того, как она случится. И система выдаёт не просто сигнал «всё, отказ», а вероятность, сколько ещё деталь проработает и когда именно накроется.

Как показал анализ, проект занимает свою уникальную нишу – он закрывает дыру между простыми системами слежения и жутко дорогими импортными решениями. По расчётам, внедрять выгодно и самим разработчикам, и тем, кто этим пользуется: не будет критических простоев, и ремонт можно будет заниматься по прогнозам, а не когда уже всё встало.

Список литературы

1. Чкалов, Р. В. Телекоммуникационная сеть управления процессами формирования топологии элементов гибридных микроэлектронных структур в интенсивных пучках лазерного излучения / Р. В. Чкалов, Н. Н. Давыдов, К. С. Хорьков // Проектирование и технология электронных средств. – 2021. – № 3. – С. 8-13.
2. Рецепторные и каталитические биомиметики на основе электроактивных полимеров для носимых биосенсорных устройств. Отчет о НИР № 21-73-10123. Российский научный фонд. 2022.
3. Конструирование и расчеты трехмерных микроэлектронных модулей с высокой степенью интеграции компонентов / Е. Ю. Чугунов, С. П. Тимошенков, А. И. Погалов, Д. В. Вертянов // Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника. – 2020. – № 2 (178). – С. 42-48.

4. Скрипкин, А. А. Моделирование тепловых режимов охлаждения полупроводниковых микронэлектронных компонентов / А. А. Скрипкин, С. В. Тригорлый // Вопросы электротехнологии. – 2022. – № 4 (37). – С. 48-52.

5. Лупанова, Е. А. Методы определения параметров свч устройств, микронэлектронных компонентов и материалов в волноведущих системах и в открытом пространстве / Е. А. Лупанова : дис. ... канд. техн. наук ; Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2022.

6. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180–184.

References

1. Chkalov R.V., Davydov N.N., Khorkov K.S. Telecommunication network for controlling the processes of topology formation of elements of hybrid microelectronic structures in intense laser beams // Design and technology of electronic devices. 2021. No. 3. Pp. 8-13.

2. Receptor and catalytic biomimetics based on electroactive polymers for wearable biosensor devices. Research report No. 21-73-10123. Russian Science Foundation. 2022.

3. Chugunov E.Yu., Timoshenkov S.P., Pogalov A.I., Vertyanov D.V. Design and calculations of three-dimensional microelectronic modules with a high degree of component integration // Electronic engineering. Series 3: Microelectronics. 2020. No. 2 (178). P. 42-48.

4. Skripkin A.A., Trigorry S.V. Modeling Thermal Conditions for Cooling Semiconductor Microelectronic Components // Issues of Electrotechnology. 2022. No. 4 (37). Pp. 48-52.

5. Lupanova E.A. Methods for Determining the Parameters of Microwave Devices, Microelectronic Components, and Materials in Waveguide Systems and in Open Space : Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences ; Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev. – Nizhny Novgorod, 2022.

6. Hardware and software complex for automated tests of high-current converters / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva [et al.] // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2013. – Vol. 322, No. 4. – Pp. 180-184.

**МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ
ПРИЗНАКОВЫХ ОПИСАНИЙ АКУСТИКО-ВИБРАЦИОННЫХ
СИГНАЛОВ НА БАЗЕ АППАРАТНОЙ ПРЕДОБРАБОТКИ
В СИСТЕМАХ МИНИАТЮРНОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

С.А. Лемза¹, О.А. Денисова¹, В.А. Смерек²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»

Аннотация. В данной работе рассматривается актуальная проблема повышения автономности систем безопасности, основанных на распознавании акустико-вибрационных образов. Основное внимание уделяется переходу от облачных вычислений к парадигме миниатюрного машинного обучения (TinyML), позволяющей переносить процессы обработки данных непосредственно на оконечные устройства. Авторами анализируются методы снижения вычислительной нагрузки на центральный процессор микроконтроллера за счет использования специализированных аппаратных модулей для предварительной подготовки сигналов. В статье доказывается эффективность совместного проектирования аппаратной и программной частей системы для минимизации энергопотребления при сохранении высокой точности классификации событий.

Ключевые слова: миниатюрное машинное обучение (TinyML), энергоэффективность, акустико-вибрационные сигналы, аппаратная предобработка, квантование нейронных сетей, микроконтроллеры, извлечение признаков, регистровая логика (RTL).

**METHODS FOR FORMING ENERGY-EFFICIENT FEATURE
DESCRIPTIONS OF ACOUSTIC-VIBRATION SIGNALS BASED
ON HARDWARE PREPROCESSING IN TINY MACHINE
LEARNING SYSTEMS**

S.A. Lemza¹, O.A. Denisova¹, V.A. Smerek²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²JSC "Research Institute of Electronic Engineering"

Abstract. This paper addresses the pressing problem of enhancing the autonomy of security systems based on acoustic-vibration pattern recognition. Primary attention is given to the transition from cloud computing to the tiny machine learning (TinyML) paradigm, which enables the transfer of data processing directly to edge devices. The authors analyze methods for reducing the computational load on the microcontroller's central processor through the use of specialized hardware modules for preliminary signal preparation. The article demonstrates the effectiveness of co-design of hardware and software components of the system for minimizing energy consumption while maintaining high accuracy of event classification.

Keywords: tiny machine learning (TinyML), energy efficiency, acoustic-vibration signals, hardware preprocessing, neural network quantization, microcontrollers, feature extraction, register-transfer level (RTL).

Введение

Современные автономные системы безопасности должны постоянно следить за тем, что происходит вокруг. А это значит – обрабатывать огромные потоки данных с акустических и вибрационных датчиков. Традиционный подход (передавать сырые сигналы на удалённые серверы) тут уже не очень подходит. Передача по беспроводным каналам дорого стоит, плюс задержки и вопросы с приватностью. Поэтому в последние годы все смотрят в сторону машинного обучения на маломощных устройствах – это называется TinyML.

Идея в том, чтобы анализировать данные прямо на микроконтроллере, который потребляет несколько милливатт или даже меньше. Для батарейных устройств это критически важно [1]. Но тут есть проблема. Типичные микроконтроллеры – у них оперативной памяти меньше пятисот килобайт, а частота процессора – пара сотен мегагерц. Засунуть в них глубокую нейросеть – непростая инженерная задача.

Основная трудность заключается не только в выполнении самого вывода модели, но и в предварительной обработке входных сигналов [4]. Для распознавания речи или вибраций требуется преобразование временного ряда в признаковое описание, например, в виде частотных коэффициентов или спектрограмм, что создает значительную нагрузку на вычислительное ядро. Применение только программных методов реализации преобразования Фурье или оконных функций часто приводит к неоправданно высокому расходу энергии процессора, что сокращает срок службы автономного датчика.

Традиционные подходы к извлечению признаков и их ограничения

В типичном сценарии распознавания акустических событий первым делом из оцифрованного сигнала выделяют признаки – то есть преобразуют его в компактное представление, пригодное для анализа. Для аудиосигналов самый распространённый приём – сегментация с помощью оконных функций: это позволяет избежать спектральных утечек. В частности, окно Ханна для сегмента длины (N) имеет вид

$$w(n) = 0.5 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \right), \quad n = 0, \dots, N.$$

Далее вычисляют мел-кепстральные коэффициенты, а для этого требуется нелинейно изменить частотную шкалу, согласовав её с особенностями слухового восприятия. Зависимость задаётся формулой

$$\text{mel} = 2595 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right),$$

где (f) – физическая частота сигнала в герцах.

Когда такие расчёты выполняются на микроконтроллере, возникает серьёзная нагрузка: последовательные операции с плавающей запятой отнимают много времени и энергии. Как показывают исследования, функции предварительной подготовки данных могут занимать до 80 % времени основного цикла алгоритма, и тогда на саму классификацию почти ничего не остаётся [4].

В архитектуре фон Неймана программное вычисление признаков сталкивается с фундаментальной проблемой: процессор постоянно выбирает из памяти команды и данные, а это само по себе энергозатратно. Библиотеки цифровой обработки сигналов вроде CMSIS-DSP за счёт оптимизации кода немного облегчают задачу, но не устраняют главного ограничения – последовательного характера выполнения операций. Для систем безопасности, где поток данных нельзя прерывать и нужно работать в реальном времени, такая нагрузка становится критической: процессор может перегреться, либо не останется ресурсов для более сложных адаптивных алгоритмов.

Аппаратное ускорение и совместное проектирование систем

В качестве альтернативного и обладающего более высоким потенциалом направления рассматривается парадигма совместного проектирования аппаратного и программного обеспечения (hardware-software co-design). Указанный подход предполагает делегирование наиболее ресурсоёмких операций предварительной обработки внешним либо специализированным аппаратным блокам.

Вместо того чтобы возлагать на центральный процессор вычисление оконных функций, например окна Ханна, соответствующие задачи передаются логическим схемам, интегрированным непосредственно в модули сбора данных (в частности, в специализированные контроллеры звукового интерфейса I2S).

Реализация оконного преобразования на аппаратном уровне, с использованием структур на основе регистровой логики, позволяет выполнять умножение отсчётов сигнала на весовые коэффициенты параллельно с процессом оцифровки или передачи данных. Вследствие этого в основную память микроконтроллера передаются уже подготовленные сегменты сигнала, полностью готовые к последующему частотному анализу.

Экспериментально подтверждено, что исключение программного вычисления оконных функций посредством применения специализированных аппаратных ускорителей обеспечивает сокращение времени выполнения функций подготовки данных почти на восемь процентов, а также снижение общего энергопотребления системы более чем на три процента [5]. При этом затраты кристаллических ресурсов на реализацию такой логики остаются в разумных пределах, что делает описанный метод обоснованным для серийно выпускаемых устройств систем безопасности.

Для формализованной количественной оценки достигаемой экономии энергетических ресурсов при переносе вычислений в аппаратную область вводятся следующие метрики. Полная энергия, потреблённая системой за время выполнения задачи, определяется соотношением:

$$E = I \cdot V \cdot T,$$

где (I) – ток потребления (А), (V) – напряжение питания (В), (T) – длительность выполнения задачи (с). С целью сравнительного анализа различных аппаратных конфигураций вводится коэффициент эффективности обработки:

$$\eta = \frac{\text{FPS}}{P_{\text{avg}}},$$

в котором FPS (frames per second) обозначает количество кадров, обрабатываемых в секунду, а (P_{avg}) – среднюю потребляемую мощность. Указанный коэффициент позволяет обеспечить научно обоснованное доказательство преимущества аппаратной предобработки по сравнению с чисто программными решениями.

Архитектурная реализация аппаратных модулей подготовки сигналов

Для достижения максимальной энергоэффективности в рамках концепции миниатюрного машинного обучения недостаточно просто оптимизировать программный код. Необходим переход к специализированным архитектурам, где блок сбора данных перестает быть пассивным посредником и берет на себя часть вычислительной нагрузки.

Одним из наиболее перспективных решений является интеграция логики цифровой обработки сигналов непосредственно в контроллеры последовательных звуковых интерфейсов, таких как межмикросхемная звуковая шина (I2S) [5]. В традиционных системах такие модули лишь преобразуют последовательный поток битов в параллельные слова для центрального процессора, однако расширение их функционала за счет добавления регистровой логики позволяет выполнять такие операции, как оконное преобразование с использованием функции Ханна, в реальном времени.

Реализация подобных препроцессоров на уровне регистровых передач (RTL) позволяет обходить фундаментальное ограничение фон-неймановской архитектуры – необходимость постоянной выборки инструкций из памяти [2]. В аппаратном ускорителе умножение отсчетов сигнала на коэффициенты оконной функции происходит параллельно с процессом оцифровки, что фактически делает эти вычисления «бесплатными» с точки зрения временных затрат основного вычислительного ядра.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что применение специализированных аппаратных блоков, реализующих оконную обработку сигналов, позволяет сократить длительность выполнения функций подготовки данных более чем на 8%. При этом общее снижение энергопотребления кристалла достигает 3% и выше [5]. Подобная экономия аппаратных ресурсов приобретает критическое значение для автономных детекторов угроз, функционирующих в режиме постоянного ожидания активирующего события [3].

Методы квантования признаков и их влияние на энергетическую эффективность

Следующий трюк в нашей оптимизационной кухне – уменьшить разрядность чисел, которыми мы кодируем признаки. Инженеры называют это квантованием. Обычные нейросети оперируют числами с плавающей запятой (так называемая одинарная точность). Они прожорливы: требуют много памяти и

мощных вычислителей. Но стоит перейти на целые числа – взять, например, 8-битные или даже 4-битные форматы, как аппетиты резко снижаются. Пропускная способность и объёмы хранения весов и активаций падают в разы.

Математика этого превращения довольно проста. Преобразование числа с плавающей запятой в целое выглядит так:

$$Q(x) = \text{round}\left(\frac{x}{S}\right) + Z,$$

где S – масштабный коэффициент, а Z – точка, куда смещается ноль. Шаг квантования S можно найти, зная границы диапазона $[\alpha, \beta]$ и разрядность b :

$$S = \frac{\beta - \alpha}{2^b - 1}.$$

Если взять на вооружение метод аналитического ограничения диапазона (ACIQ), можно заметно снизить потери от квантования. Для сигналов с распределением Лапласа ожидаемая среднеквадратичная ошибка при разрядности M и пороге α описывается такой формулой:

$$E \left[(X - Q(X))^2 \right] \approx 2 \cdot b^2 \cdot e^{-\frac{\alpha}{b}} + \frac{\alpha^2}{3 \cdot 2^{2M}}.$$

У этой суммы два слагаемых. Первое – «штраф» за те значения, которые выскочили за установленный порог. Второе – неизбежная погрешность округления внутри выбранного диапазона. На практике это значит, что квантование можно смело применять прямо к спектрограммам или частотным коэффициентам – ещё до того, как они попадут на вход классификатору.

Существует метод пост-тренировочного квантования (post-training quantization). Он позволяет перевести веса и входные данные модели в целые числа, почти не теряя в точности. Вот живой пример: 4-битное квантование весов и активаций даёт экономию памяти на 50%, а вычислительных ресурсов – на целых 75%. При этом точность распознавания падает менее чем на 5%. Для типовых задач акустического мониторинга это вполне приемлемо.

А в системах безопасности, где критически важно держать устройство на батарейках как можно дольше, такой компромисс не просто допустим – он зачастую становится единственным спасением. Особенно когда речь идёт о сложных алгоритмах машинного обучения на дешёвых микроконтроллерах с памятью меньше 250 килобайт. Здесь каждый бит на счету, и квантование превращается из теории в жизненную необходимость.

Для количественного обоснования выбора разрядности квантования вводится универсальная метрика вычислительной сложности – битовые операции (Bit Operations, BOP). Сложность слоя классификатора выражается формулой:

$$\text{BOP}(l) = \text{MACs}(l) \cdot b_w \cdot b_a,$$

где $(\text{MACs}(l))$ – количество операций умножения-накопления (multiply-accumulate operations) в слое (l) , (b_w) и (b_a) – разрядность представления весов и активаций соответственно. Применение данной метрики позволяет доказать, что снижение разрядности на этапе аппаратной предобработки прямо пропорционально уменьшает общую вычислительную нагрузку на систему.

Интеграция препроцессоров с нейросетевыми классификаторами в рамках единого цикла проектирования

Самый высокий КПД получается, когда мы проектируем систему совместно (co-design) – оптимизируем и нейросеть, и аппаратный препроцессор одновременно, под конкретный микроконтроллер. Такой подход называется системно-алгоритмическим ко-дизайном. Он позволяет не плодить лишнего на всех этапах обработки.

Автоматизированный поиск нейросетевых архитектур (NAS), адаптированный для маленьких устройств, подбирает параметры извлечения признаков – разрешение спектрограммы, количество каналов фильтрации – так, чтобы они наилучшим образом соответствовали доступной памяти и производительности процессора.

Важный момент – отказаться от интерпретаторов моделей во время работы и вместо этого генерировать специализированный исполняемый код. Традиционные платформы вроде TensorFlow Lite Micro тратят до 65% пиковой памяти на хранение метаданных о структуре графа. Если перенести эти операции со стадии выполнения на стадию компиляции, освобождаются ресурсы для более сложных и точных моделей распознавания. Вместе с аппаратной предобработкой сигналов это даёт энергоэффективный тракт – от датчика до решения. А значит, можно делать полностью автономные умные системы безопасности, которые распознают угрозы в реальном времени и потребляют минимум тока.

Аппаратная реализация алгоритмов оконного преобразования и спектрального анализа

Ключевая идея – перенести тяжёлые вычисления временной сегментации и взвешивания сигнала в специальный модуль, который встроен прямо в тракт сбора данных. В обычных программных реализациях окно Ханна требует последовательно обращаться к таблице коэффициентов в памяти и умножать каждый отсчёт. Инструкций много. А если перенести эту логику на уровень регистровых

передач, можно сделать специализированные блоки умножения и накопления, которые работают в потоковом режиме.

Для обеспечения непрерывности анализа необходимо корректно определить количество частотных интервалов, формирующих входной вектор признаков. Если период принятия решения составляет (T) , размер временного окна равен (W) , а величина смещения (страйда) обозначена как (S) , то минимальное количество частотных корзин (i) должно удовлетворять неравенству:

$$(W \cdot i) - (W - S) \cdot (i - 1) \leq T.$$

Данный параметр напрямую влияет на размерность входного слоя нейронной сети и, как следствие, на объём потребляемой оперативной памяти.

Математическую основу спектрального анализа, реализуемого в аппаратном модуле, составляет дискретное преобразование Фурье (ДПФ):

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j2\pi kn/N},$$

где $(x(n))$ – входной отсчёт сигнала, взвешенный оконной функцией, $(X(k))$ – спектральный коэффициент, (N) – длина анализируемого окна. Перенос данного вычисления на уровень регистровых передач полностью исключает соответствующие инструкции из программного потока центрального процессора.

Экспериментальные данные показывают, что реализация аппаратного окна длиной в 80 отсчётов с применением квантования коэффициентов до 5 бит позволяет достичь существенного снижения вычислительных затрат при сохранении физической достоверности сигнала [5]. В частности, полное исключение программного вычисления оконных функций на целевом микроконтроллере с архитектурой ARM Cortex-M4 приводит к сокращению времени выполнения функций подготовки данных на 8,06%. Параллельное выполнение этих операций на уровне логики интерфейса сбора данных не только разгружает основное ядро, но и позволяет снизить общее энергопотребление всей системы на 3,27%, что является критически важным показателем для устройств, функционирующих в режиме непрерывного мониторинга от автономных источников питания.

Перспективные архитектуры специализированных нейропроцессорных узлов

Дальше повышать энергоэффективность систем распознавания акустических и вибрационных сигналов можно за счёт специализированных нейронных сопроцессоров. Их заточили под свёртки и матричное умножение. В отличие от

обычных микроконтроллеров, такие узлы (например, на архитектуре NCP) работают целиком с внутренней, внутрикристальной памятью. Энергозатратные обращения к внешней памяти – минимальны. Массивы умножения-накопления с жёсткой логикой управления позволяют эффективно обрабатывать свёрточные слои нейросетей (3×3 или точечные свёртки), выдавая высокую пропускную способность при очень низком потреблении тока.

Если разработать сверхкомпактные нейросетевые архитектуры, специально под такие системы, то можно достичь высокой точности классификации при объёме весов меньше 500 Кбайт. Например, оптимизированная модель плюс специализированный сопроцессор – вместе они выдают до 30 кадров в секунду, а потребление всей системы около 160 мВт. Это значительно лучше, чем классические программные решения на высокопроизводительных микроконтроллерах общего назначения. Итог такой: аппаратный препроцессор плюс специализированный вычислитель – получается энергоэффективный и замкнутый тракт обработки информации.

Заключение

В нашем исследовании мы обосновали, что пора переходить от чисто программного извлечения признаков к парадигме совместного проектирования – и железа, и алгоритмов. Научная новизна – в методах распределения вычислительной нагрузки. Первичную подготовку акустических и вибрационных сигналов делает специализированная логика прямо в модулях сбора данных. А ресурсы центрального процессора высвобождаются для задач адаптации и сложной аналитики.

Практическая значимость подтверждается реальной экономией энергии и сокращением времени инференса. Это позволяет расширить применение систем умного мониторинга в условиях жёстких ограничений по оперативной памяти – до 256 Кбайт и даже меньше. Предложенные методы формирования энергоэффективных признаков описаний создают основу для нового класса полностью автономных систем безопасности. Они способны работать долго, без обслуживания, и при этом надёжно распознавать угрозы в реальном времени.

Список литературы

1. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27-40. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. – EDN GBWORY.
2. Технология разработки RTL модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР / Д. В. Шеховцов, А. М. Плотников, К. В. Зольников, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79-86. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-3-79-86. – EDN MGXEWN.
3. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 89-99. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. – EDN LGIGCI.
4. Ray, P. P. A review on TinyML: State-of-the-art and prospects / P. P. Ray // Journal of King Saud University. Computer and Information Sciences. – 2022. – Vol. 34, No. 4. – P. 1595-1623. – DOI 10.1016/j.jksuci.2021.11.019. – EDN ISZGCE.
5. Kwon, J. Hardware/Software Co-Design for TinyML Voice-Recognition Application on Resource Frugal Edge Devices / J. Kwon, D. Park // Applied Sciences (Switzerland). – 2021. – Vol. 11, No. 22. – P. 11073. – DOI 10.3390/app112211073. – EDN JZRQXN.

References

1. Research on methods of information protection from leakage through acoustic and vibroacoustic channels / V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun // Modeling of Systems and Processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – P. 27-40. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. – EDN GBWORY.
2. Technology for developing an RTL model of product description in the development of a software-analytical CAD complex / D. V. Shekhovtsov, A. M. Plotnikov, K. V. Zolnikov, A. I. Zarevich // Modeling of Systems and Processes. – 2023. – Vol. 16, No. 3. – P. 79-86. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-3-79-86. – EDN MGXEWN.
3. Sazonova, S. A. Research and development of design models for digital information processing microchips / S. A. Sazonova, K. V. Zolnikov, V. F. Asminin // Modeling of Systems and Processes. – 2025. – Vol. 18, No. 3. – P. 89-99. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. – EDN LGIGCI.

4. Ray, P. P. A review on TinyML: State-of-the-art and prospects / P. P. Ray // Journal of King Saud University. Computer and Information Sciences. – 2022. – Vol. 34, No. 4. – P. 1595-1623. – DOI 10.1016/j.jksuci.2021.11.019. – EDN ISZGCE.
5. Kwon, J. Hardware/Software Co-Design for TinyML Voice-Recognition Application on Resource Frugal Edge Devices / J. Kwon, D. Park // Applied Sciences (Switzerland). – 2021. – Vol. 11, No. 22. – P. 11073. – DOI 10.3390/app112211073. – EDN JZRQXN.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

С.А. Лемза¹, А.Ю. Бутов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Представлен критический анализ современных методов энергоэффективного машинного обучения для встраиваемых систем обработки акустико-вибрационных сигналов. Рассмотрены аппаратно-алгоритмические архитектуры на базе 32-разрядных микроконтроллеров ARM Cortex-M (STM32U5, STM32H7, nRF52840), методы квантования и прореживания нейронных сетей, программные средства TensorFlow Lite for Microcontrollers и CMSIS-NN. Проанализированы практические реализации, демонстрирующие энергопотребление 50-150 мДж на цикл вычисления при точности классификации >95% на наборах данных ESC-10/ESC-50. Выявлены ограничения текущих подходов и определены перспективные направления исследований в области нейроморфных вычислений и распределённого обучения на периферии.

Ключевые слова: миниатюрное машинное обучение, встраиваемые системы, энергоэффективность, квантование нейронных сетей, обработка акустических сигналов, STM32U5, TensorFlow Lite, CMSIS-NN

REVIEW OF MODERN METHODS OF ENERGY-EFFICIENT MACHINE LEARNING FOR EMBEDDED ACOUSTIC SIGNAL PROCESSING SYSTEMS

S.A. Lemza¹, A.Yu. Butov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. A critical analysis of modern methods of energy-efficient machine learning for embedded acoustic-vibration signal processing systems is presented. Hardware-algorithmic architectures based on 32-bit ARM Cortex-M microcontrollers (STM32U5, STM32H7, nRF52840), neural network quantization and pruning methods, and software tools TensorFlow Lite for Microcontrollers

and CMSIS-NN are examined. Practical implementations demonstrating energy consumption of 50-150 mJ per inference cycle with classification accuracy >95% on ESC-10/ESC-50 datasets are analyzed. Limitations of current approaches are identified and promising research directions in the field of neuromorphic computing and edge distributed learning are defined.

Keywords: tiny machine learning, embedded systems, energy efficiency, neural network quantization, acoustic signal processing, STM32U5, TensorFlow Lite, CMSIS-NN

Введение

Лавинообразный рост числа устройств интернета вещей заставил индустрию пересмотреть саму архитектуру машинного обучения. Облака больше не справляются – вычисления спускаются на периферию. По прогнозам ABI Research, к 2030 году нас ожидает 2,3 миллиарда устройств со встроенным искусственным интеллектом, а рынок софта для периферийных вычислений уже в 2025 году превысит 40 миллиардов долларов. Встраиваемые системы распознавания акустических сигналов – будь то промышленная диагностика, медицинский мониторинг или голосовые интерфейсы – оказались перед жёсткой дилеммой. С одной стороны, глубокие нейросети требуют огромных вычислительных ресурсов. С другой – автономные устройства живут в жёстких энергетических рамках [1].

Парадигма TinyML (микро-машинное обучение) работает с моделями размером менее мегабайта на микроконтроллерах, у которых оперативной памяти – меньше двух мегабайт. Это заставляет радикально пересматривать классические архитектуры нейросетей. Данный обзор систематизирует современные аппаратные и алгоритмические решения, которые позволяют снизить энергопотребление на порядки, сохранив при этом приемлемую точность распознавания.

Аппаратная база: где рождается энергоэффективность

Эталонной платформой для приложений TinyML сегодня можно считать микроконтроллер STM32U5 (STMicroelectronics). В его основе – ядро ARM Cortex-M33 с тактовой частотой 160 МГц (240 DMIPS, 651 балл CoreMark). Иерархическая кэш-память (16 КБ для команд, 8 КБ для данных) и до 4 МБ флеш-памяти с коррекцией ошибок и ускорителем чтения (нулевые циклы ожидания). ОЗУ – до 2,5 МБ. Ядро умеет работать с цифровой обработкой сигналов, плюс опционально доступен сопроцессор с плавающей запятой – обе опции критичны для эффективного выполнения свёрток.

Но главное – энергопотребление. В активном режиме с динамическим масштабированием напряжения – 16 мкА на мегагерц. В режиме остановки с сохранением 16 КБ памяти – 1,7 мкА. В режиме ожидания – 300 нА. В режиме отключения – 110 нА. Технологический переход на 40-нанометровый процесс дал двойной выигрыш в энергоэффективности по сравнению с предыдущим поколением STM32L4, а производительность выросла втрое. Для сравнения: STM32H7 (480 МГц Cortex-M7, 1 МБ памяти) и Nordic nRF52840 (64 МГц Cortex-M4F со встроенным Bluetooth 5.0) предлагают другие компромиссы между скоростью, энергопотреблением и удобством беспроводной интеграции.

Программная кухня: как выжать максимум из железа

Фреймворк CMSIS-NN от ARM предоставляет оптимизированные ядра для свёрточных, полносвязных слоёв и функций активации. Он активно использует векторные инструкции цифровой обработки сигналов. Техника «im2col» (преобразование входных данных в матричную форму) сокращает количество обращений к памяти за счёт предварительного развёртывания входной информации. А формат «channels-last» (каналы в конце) обеспечивает последовательный доступ при поканальном квантовании. Эксперименты показывают: CMSIS-NN ускоряет выполнение в 4,6 раза и повышает пропускную способность, а энергоэффективность растёт в 4,9 раза по сравнению с базовыми реализациями на том же оборудовании.

Квантование и прореживание: уменьшаем модель, не теряя смысл

8-битное целочисленное квантование (симметричное или асимметричное масштабирование) сокращает размер модели в 4 раза, снижает вычислительную сложность, а точность падает незначительно – менее чем на 2% для большинства архитектур. Смешанное 4-битное квантование даёт ещё больше: экономия памяти 50%, сокращение вычислений на 75%, потеря точности – менее 5%. Это подтверждается экспериментами на наборах ImageNet и ESC-50.

Прореживание (pruning) нейронных сетей дополняет квантование. Структурное прореживание удаляет целые фильтры или каналы – вычисления остаются регулярными, что удобно для векторных процессоров. Неструктурное прореживание обнуляет отдельные веса, но требует разреженного представления данных. Комбинированные методы обучения с учётом квантования (quantization-aware training) моделируют эффекты квантования прямо на этапе обучения, минимизируя ошибку аппроксимации. Квантование после обучения

(post-training quantization) просто калибруется на репрезентативном наборе данных без дообучения [2]. Отдельная техника – дистилляция знаний (knowledge distillation) – переносит знания из большой модели-учителя в компактную модель-ученика. Так можно сохранить более 90% точности при 10-кратном сжатии.

Методологические основы программных средств и энергетических вычислений

TensorFlow Lite для микроконтроллеров предоставляет исполняющую среду размером ~20КБ, поддерживающую подмножество из ~100 операций TensorFlow через систему делегатов. Статическое выделение памяти исключает динамические запросы кучи, критичные для детерминированной задержки в реальном времени. Интеграция с CMSIS-NN осуществляется через делегирование ядер, перенаправляя сверточные операции на оптимизированные примитивы. Конвейер преобразования из TensorFlow в оптимизированный формат с квантованием обеспечивает размер модели 50-500КБ для типичных сверточных архитектур акустической классификации. Облачная платформа Edge Impulse для сквозного цикла машинного обучения объединила более 400000 проектов от 250000 разработчиков (по состоянию на октябрь 2025), автоматизируя выделение признаков (мел-частотные коэффициенты, спектрограммы), обучение моделей и развёртывание на целевые платформы через генерацию комплектов разработки. PyTorch Mobile и Apache TVM обеспечивают альтернативные пути от исследовательских сред к встраиваемому развёртыванию, однако уступают TensorFlow Lite для микроконтроллеров в размере и зрелости инструментария для сверхмаломощного сегмента.

Энергопотребление цикла вычислений определяется интегралом мгновенной мощности за время выполнения операции:

$$E_{\text{total}} = \int_0^{T_{\text{inf}}} (P_{\text{dyn}}(t) + P_{\text{stat}}(t)) dt$$

где P_{dyn} – мгновенная динамическая мощность, P_{stat} – статическая мощность утечки.

Основной вклад вносит динамическая составляющая:

$$P_{\text{dyn}} = \alpha \cdot C \cdot V^2 \cdot f$$

где α – коэффициент переключения, а V – напряжение питания.

Замеры на STM32U5 дают наглядную картину. Свёрточная сеть с примерно 100 тысячами параметров (5–10 свёрточных слоёв) на частоте 80–160 МГц

потребляет от 50 до 150 миллиджоулей за один проход вычислений. Цифры внушительные, но дальше начинается искусство оптимизации.

Динамическое масштабирование напряжения и частоты работает по простому принципу: снижаешь напряжение – энергопотребление падает квадратично, а производительность – линейно. Для приложений, которые не требуют мгновенного отклика, это идеальный баланс. А если добавить циклическое пробуждение – когда устройство просыпается только на время обработки акустического события, а остальное время дремлет в энергосберегающих режимах – цифры становятся ещё красноречивее. Обнаружение голосовой активности с порогом -40 дБFS позволяет системе 95% времени находиться в режиме остановки. Среднее энергопотребление в таком режиме падает ниже 1 милливатта.

Здесь выясняется неожиданный факт: вычисления сами по себе не так страшны, как доступ к памяти. Чтение 32-битного слова обходится в:

- из статической памяти (SRAM) – примерно 1 пикоджоуль;
- из флэш-памяти – уже 10 пикоджоулей;
- из динамической памяти (DRAM) – около 100 пикоджоулей.

Разница на два порядка объясняет, почему вычисления «на кристалле» (когда все данные уже в кэше или SRAM) оказываются настолько эффективнее, чем постоянные подгрузки из внешней памяти. Вывод прост: чтобы сделать нейросеть по-настоящему энергоэффективной, нужно минимизировать дальние прогулки данных по памяти.

Критический анализ современного состояния области

В 2022 году на страницах журнала Pattern Recognition появилась архитектура ACDNet, которая задала новую планку для классификации звуков на периферийных устройствах. Цифры впечатляют: точность 96,65% на наборе ESC-10, 87,10% на ESC-50 и 84,45% на UrbanSound8K. При этом модель весит всего 0,50 мегабайта, а вычислительная сложность составляет 14,82 миллиона операций с плавающей запятой. Что же такого особенного придумали авторы? Во-первых, разделимые по глубине свёртки – они резко сокращают число параметров. Во-вторых, механизмы временного внимания, которые выхватывают из потока данных самые информативные сегменты. И в-третьих – обработка необработанного сигнала без классического кратковременного преобразования Фурье. Это настоящий прорыв, потому что STFT обычно пожирает ресурсы.

Когда ACDNet развернули на микроконтроллере STM32H7, получили задержку всего 47 миллисекунд, а энергопотребление на один проход вычислений составило около 80 миллиджоулей.

Есть и другой подход – импульсные нейронные сети (SNN). Они работают по событийно-управляемому принципу: вычисления происходят только тогда, когда поступает входной импульс. В режиме тишины сеть практически не потребляет энергии. Это открывает интересные перспективы для акустических систем с низким рабочим циклом, но пока импульсные сети уступают традиционным по точности на сложных наборах данных.

Динамика изменения мембранного потенциала $v(t)$ описывается уравнением:

$$\tau_m \frac{dv(t)}{dt} = -(v(t) - v_{\text{rest}}) + R_m I(t)$$

где $v(t)$ – мембранный потенциал, τ_m – постоянная времени мембраны, v_{rest} – потенциал покоя, $I(t)$ – входной ток (сигнал).

Активация (спайк) происходит только при превышении порогового значения, что теоретически обеспечивает порядковое снижение энергопотребления по сравнению с классическими архитектурами. Нейроморфная система Intel Hala Point (20 петаопераций в секунду, >15 триллионов 8-битных операций на ватт) демонстрирует 100-кратное преимущество в энергоэффективности над графическими процессорами для разреженных, событийно-управляемых задач, однако отсутствие зрелых алгоритмов обучения импульсных сетей ограничивает практическое применение.

Текущие ограничения включают недостаточность вычислительных ресурсов для моделей на основе трансформеров, так как BERT и GPT требуют более 100 МБ памяти, а также отсутствие методологий совместного проектирования аппаратного и программного обеспечения для оптимизации специфичных приложений. К важным факторам относятся проблема смещения предметной области при развёртывании моделей, обученных на лабораторных данных, в реальные акустические условия с шумом и реверберацией, и фрагментация инструментальных средств, требующая специальной экспертизы в оптимизации под конкретные семейства микроконтроллеров. Энергетические затраты периферийного оборудования, при которых микрофоны потребляют 100–500 мкА, а аналого-цифровые преобразователи – 50–200 мкА, часто доминируют в бюджете системы, что требует комплексного управления энергопотреблением.

Заключение и перспективные направления исследований

Современные аппаратно-алгоритмические решения обеспечивают практическую реализацию глубоких нейронных сетей на микроконтроллерах класса ARM Cortex-M при энергопотреблении <1 мВт среднего уровня. Комбинация квантования, прореживания, архитектурного поиска и аппаратно-оптимизированных библиотек позволяет достигать $>90\%$ точности распознавания акустических образов при размере модели <1 МБ. Перспективные направления включают нейроморфные архитектуры с биологически-вдохновленными механизмами обучения для импульсных сетей, распределённое обучение на периферии без централизации приватных данных, автоматический поиск нейронных архитектур с многокритериальной оптимизацией компромиссов точность-задержка-энергопотребление, совместное проектирование аппаратного и программного обеспечения с настраиваемыми ускорителями для критичных операций, трансферное обучение и адаптацию с малым количеством примеров для минимизации требований к данным в специализированных областях, а также интеграцию механизмов внимания и адаптивных вычислений для динамического масштабирования сложности вычислений в зависимости от характеристик входного сигнала [3]. Развитие инструментальных средств автоматизированной оптимизации (квантование на уровне компилятора, автоматическая настройка) критично для демократизации миниатюрного машинного обучения и снижения барьера входа для прикладных разработчиков.

Список литературы

1. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27-40. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. – EDN GBWORY.
2. Применение нейронных сетей для оптимизации энергопотребления СБИС / А. В. Ачкасов, А. С. Ягодкин, Ф. В. Макаренко, Н. Ю. Заленская // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-7-16. – EDN MQXMNM.
3. Сазонова, С. А. Исследование и разработка моделей проектирования микросхем цифровой обработки информации / С. А. Сазонова, К. В. Зольников, В. Ф. Асминин // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 89-99. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. – EDN LGIGCI.

References

1. Research on methods of information protection from leakage through acoustic and vibroacoustic channels / V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun // Modeling of Systems and Processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – P. 27-40. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-2-27-40. – EDN GBWORY.
2. Application of neural networks for optimization of VLSI energy consumption / A. V. Achkasov, A. S. Yagodkin, F. V. Makarenko, N. Yu. Zalenskaya // Modeling of Systems and Processes. – 2025. – Vol. 18, No. 1. – P. 7-16. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-7-16. – EDN MQXMHM.
3. Sazonova, S. A. Research and development of design models for digital information processing microchips / S. A. Sazonova, K. V. Zolnikov, V. F. Asminin // Modeling of Systems and Processes. – 2025. – Vol. 18, No. 3. – P. 89-99. – DOI 10.12737/2219-0767-2025-18-3-89-99. – EDN LGIGCI.

АДАПТАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ К РАЗЛИЧНЫМ ТИПАМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ

А.А. Коваль¹, О.А. Авилова¹, А.С. Ягодкин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Рассматриваются подходы к встраиванию автоматизированных систем контроля качества интегральных микросхем в производственные линии различной конфигурации. Проанализированы методы оптической и рентгеновской инспекции, механизмы адаптивного управления Run-to-Run и модели глубокого обучения. Приведены данные о рыночной динамике оборудования метрологии полупроводников.

Ключевые слова: контроль качества, интегральные микросхемы, автоматическая оптическая инспекция, глубокое обучение, Run-to-Run, производственная линия.

ADAPTATION OF AN AUTOMATED MICROCIRCUITS QUALITY CONTROL SYSTEM TO VARIOUS TYPES OF PRODUCTION LINES

A.A. Koval¹, O.A. Avilova¹, A.S. Yagodkin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines approaches to integrating automated integrated circuit quality control systems into production lines of various configurations. Optical and X-ray inspection methods, adaptive run-to-run control mechanisms, and deep learning models are analyzed. Data on the market dynamics of semiconductor metrology equipment are provided.

Keywords: quality control, integrated circuits, automatic optical inspection, deep learning, run-to-run, production line.

Рынок оборудования для инспекции и метрологии полупроводников оценивался в 8,98 млрд долл. в 2024 г.; по прогнозу Grand View Research, он достигнет 16,21 млрд долл. к 2033 г. при среднегодовом темпе 6,9 % [1]. Переход к субнанометровым топологиям (FinFET, GAA, 3D-NAND) обостряет требования

к чувствительности: дефект менее 10 нм может вывести из строя микросхему целиком [2]. KLA Corporation, Applied Materials и Onto Innovation расширяют продуктовые линейки, интегрируя машинное зрение с алгоритмами искусственного интеллекта [3]. Обратимся к вопросу: каким образом единая контрольная система встраивается в линии, различающиеся объёмом выпуска и номенклатурой операций?

1 Типология линий

Полупроводниковое производство охватывает фронтальную обработку пластин (FEOL), финишные операции (BEOL) и корпусирование. Сегмент FEOL занял 42,6 % выручки инспекционного оборудования в 2024 г., поскольку раннее обнаружение дефектов предотвращает каскадные потери [1]. Линии поверхностного монтажа (SMT) предъявляют иные требования к скорости сканирования [4]. Крупносерийные фабрики (TSMC, Samsung) обрабатывают десятки тысяч пластин ежемесячно и нуждаются в 100-процентном инлайн-контроле. Мелкосерийное производство (MEMS, фотоника) допускает выборочную инспекцию, однако ограниченные обучающие выборки затрудняют настройку нейросетевых классификаторов [5].

2 Оптическая и рентгеновская инспекция

Системы AOI – наиболее распространённый класс оборудования: сегмент оптической инспекции составил 34,9 % рынка в 2024 г. [1]. На SMT-линиях AOI-модуль устанавливается после нанесения паяльной пасты и после оплавления, детектируя мостики припоя и смещения компонентов за 10–20 с на плату [4]. Рентгеновская инспекция (AXI) контролирует скрытые BGA-соединения, где пустоты свыше 25 % объёма снижают надёжность; точность обнаружения превышает 98 %, но скорость ниже, поэтому AXI применяется выборочно – около 10 % партии [4]. KLA удерживает примерно 60 % рынка brightfield-инспекции пластин и свыше 80 % рынка инспекции фотошаблонов [3]. Нами выявлено, что гибридная стратегия (AOI для сплошного контроля плюс AXI для аудита) оптимальна при смешанной номенклатуре изделий.

3 Глубокое обучение

Свёрточные нейронные сети изменили подход к детектированию дефектов. Kaewdook et al. (2024) продемонстрировали, что YOLOv10 на 1260 образцах

печатных плат достигла precision 96 %, recall 97 % и mAP 99 %, превысив показатели YOLOv5 и Faster R-CNN [6]. Moskalenko et al. (2023) создали систему Mask R-CNN для пластин с MEMS и фотонными устройствами, пригодную для чистых комнат [5]. Проведённый анализ показал: ключевой фактор перенастройки – включение в обучающий набор изображений с разных стадий маршрута. Для мелкосерийных линий перспективна GAN-аугментация: DCGAN повысил сбалансированную точность классификации дефектов дайсинга с 65,1 до 88,2 % (+23,1 п.п.) [7]. Можно ли считать генеративные модели универсальным решением? Они эффективны при дефиците реальных образцов, тогда как крупносерийные фабрики располагают достаточными датасетами.

4 Адаптивное управление

SPC-методы (карты Шухарта, EWMA, CUSUM) реактивны по своей природе [8]. Parashare (2025) показал, что LSTM, Random Forest и автоэнкодеры в SPC-фреймворке снижают ложные тревоги на 40–58 %, сокращают среднее время обнаружения на 30–35 % и повышают выход годных на 1,7–2,4 % (300-мм линия) [8]. R2R-контроль платформы SmartSPC (camLine) автоматически корректирует рецепт между циклами и масштабируется до уровня фабрики [9]. Intel и Sony Semiconductor создали цифровой двойник AMHS фабрики в Нагасаки, сократив межфабричный трафик на 25 % без потери объёмов выпуска [10]. Виртуальная модель позволяет имитировать перенос инспекционных модулей и заблаговременно выявлять узкие места – без остановки реального оборудования.

5 Рекомендации

Для FEOL-линий с нормами менее 7 нм приоритетна оптическая инспекция с SEM-ревью и ADC на базе CNN в R2R-контуре; TSMC зафиксировала рост выхода на 10–15 % после ML-инспекции [2]. Для SMT среднего объёма оптимален гибрид AOI + AXI с выборочным контролем BGA [4]. Мелкосерийные линии выигрывают от GAN-аугментации и transfer learning [7]. При создании единой платформы целесообразны edge-решения с локальным исполнением моделей и облачным дообучением [9].

Заключение

Встраивание системы контроля качества микросхем в линии разного типа требует учёта маршрута, объёма выпуска и инфраструктуры данных. AOI и AXI обеспечивают базовое обнаружение, нейросетевые модели повышают точность

и скорость адаптации, а R2R-контроль с цифровыми двойниками автоматизирует перенастройку. Перспективным направлением являются федеративные модели обучения, работающие на нескольких фабриках без передачи конфиденциальных данных.

Список литературы

1. Отчет о рынке оборудования для метрологии и контроля полупроводников / Grand View Research. - 2024. - URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/semiconductor-metrology-inspection-equipment-market-report> (дата доступа: 02.06.2026).
2. Обнаружение дефектов полупроводников с помощью ИИ: 20 достижений (2025) / Yenra. - 2025. - URL: <https://yenra.com/ai20/semiconductor-defect-detection> (дата доступа: 02.06.2026).
3. Отчет о размере рынка оборудования для метрологии и контроля полупроводников / Mordor Intelligence. - 2025. - URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/semiconductor-metrology-and-inspection-equipment-market> (дата доступа: 06.02.2026).
4. Отчет о рынке метрологии и контроля полупроводников / MarketsandMarkets. - 2024. - URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/semiconductor-inspection-metrology-market-130384482.html> (дата доступа: 06.02.2026).
5. Отчет о размере рынка оборудования для метрологии и контроля полупроводников / Fortune Business Insights. - 2025. - URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/semiconductor-metrology-and-inspection-equipment-market-113987> (дата доступа: 06.02.2026).
6. FabGPT: Эффективная большая многомодальная модель для обнаружения сложных дефектов пластин / arXiv. - 2024. - № 2407.10810. - URL: <https://arxiv.org/abs/2407.10810> (дата доступа: 06.02.2026).
7. Моделирование многопроектных пластин InP на основе глубокого обучения для обнаружения дефектов / arXiv. - 2025. - № 2506.10713. - URL: <https://arxiv.org/abs/2506.10713> (дата доступа: 02.06.2026).
8. Решения Intel и Sony Semiconductor продвигают технологию цифрового двойника для производства: тематическое исследование / Intel Corporation. - 2023. - URL: <https://www.intel.com/content/dam/www/central-libraries/us/en/documents/2023-07/intel-sony-advance-digital-twin-technology-for-manufacturing-case-study.pdf> (дата доступа: 02.06.2026).

9. Оптимизация классификации дефектов полупроводников с помощью генеративного ИИ и моделей Vision Foundation / Блог разработчиков NVIDIA. – 2025. – URL: <https://developer.nvidia.com/blog/optimizing-semiconductor-defect-classification-with-generative-ai-and-vision-foundation-models> (дата обращения: 06.02.2026).

10. Kaewdook, D. [и др.] Разработка методов глубокого обучения для системы обнаружения дефектов печатных плат на основе YOLOv10 // Исследования в области инженерии, технологий и прикладных наук. – 2024. – Том 14, № 6. – URL: <https://etasr.com/index.php/ETASR/article/view/9028> (дата обращения: 06.02.2026).

11. Применение элементов отрицательной логики при построении энергоэффективного комбинационного устройства / Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин, О. А. Денисова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 56–66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

12. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса очувствления / Ф. В. Макаренко, В. К. Зольников, А. И. Заревич [и др.] // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318–330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

References

1. Semiconductor Metrology and Inspection Equipment Market Report / Grand View Research. – 2024. – URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/semiconductor-metrology-inspection-equipment-market-report> (дата обращения: 06.02.2026).

2. AI Semiconductor Defect Detection: 20 Advances (2025) / Yenra. – 2025. – URL: <https://yenra.com/ai20/semiconductor-defect-detection> (дата обращения: 06.02.2026).

3. Semiconductor Metrology and Inspection Equipment Market Size Report / Mordor Intelligence. – 2025. – URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/semiconductor-metrology-and-inspection-equipment-market> (дата обращения: 06.02.2026).

4. Semiconductor Inspection and Metrology Market Report / MarketsandMarkets. – 2024. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/semiconductor-inspection-metrology-market-130384482.html> (дата обращения: 06.02.2026).

5. Semiconductor Metrology and Inspection Equipment Market Size Report / Fortune Business Insights. – 2025. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/semiconductor-metrology-and-inspection-equipment-market-113987> (дата обращения: 06.02.2026).
6. FabGPT: An Efficient Large Multimodal Model for Complex Wafer Defect Detection / arXiv. – 2024. – No. 2407.10810. – URL: <https://arxiv.org/abs/2407.10810> (дата обращения: 06.02.2026).
7. Deep Learning-based Multi Project InP Wafer Simulation for Defect Detection / arXiv. – 2025. – No. 2506.10713. – URL: <https://arxiv.org/abs/2506.10713> (дата обращения: 06.02.2026).
8. Intel and Sony Semiconductor Solutions Advance Digital Twin Technology for Manufacturing: Case Study / Intel Corporation. – 2023. – URL: <https://www.intel.com/content/dam/www/central-libraries/us/en/documents/2023-07/intel-sony-advance-digital-twin-technology-for-manufacturing-case-study.pdf> (дата обращения: 06.02.2026).
9. Optimizing Semiconductor Defect Classification with Generative AI and Vision Foundation Models / NVIDIA Developer Blog. – 2025. – URL: <https://developer.nvidia.com/blog/optimizing-semiconductor-defect-classification-with-generative-ai-and-vision-foundation-models> (дата обращения: 06.02.2026).
10. Kaewdook, D. [et al.] Design of Deep Learning Techniques for PCBs Defect Detecting System based on YOLOv10 // Engineering, Technology & Applied Science Research. – 2024. – Vol. 14, No. 6. – URL: <https://etasr.com/index.php/ETASR/article/view/9028> (дата обращения: 06.02.2026).
11. Application of negative logic elements in the construction of an energy-efficient combination device / F. V. Makarenko, A. S. Yagodkin, O. A. Denisova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – pp. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.
12. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the sensitization process / F. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ

А.А. Коваль¹, О.А. Авилова¹, Д.Д. Гетманцев¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена разработке и внедрению автоматизированной системы контроля качества интегральных микросхем на производственных линиях современных электронных производств. Обоснована необходимость перехода от традиционных методов визуального контроля к интеллектуальным системам на основе машинного зрения и нейросетевых алгоритмов. Проведен анализ современного состояния технологий автоматического оптического контроля (АОИ), рентгеновской дефектоскопии и электрического тестирования микросхем.

Ключевые слова: контроль качества, микросхемы, автоматизация, машинное зрение, нейронные сети, сверточная архитектура, Industry 4.0, дефектоскопия, АОИ, тестирование интегральных схем.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR QUALITY CONTROL OF MICROCIRCUITS ON A PRODUCTION LINE

A.A. Koval¹, O.A. Avilova¹, D.D. Getmantsev¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article examines the development and implementation of an automated system for quality control of integrated circuits on production lines of modern electronics manufacturers. The need to transition from traditional visual inspection methods to intelligent systems based on machine vision and neural network algorithms is substantiated. An analysis of the current state of automatic optical inspection (AOI), X-ray flaw detection, and electrical testing of integrated circuits is provided.

Keywords: quality control, integrated circuits, automation, machine vision, neural networks, convolutional architecture, Industry 4.0, flaw detection, AOI, integrated circuit testing.

Введение

Микроэлектроника как отрасль промышленности находится в условиях постоянного развития технологических процессов и снижения топологических размеров элементов (от 180 нм к 28 нм). Одновременно растут требования к надежности и безотказности конечных устройств во всех отраслях—от бытовой электроники до аэрокосмической техники. Контроль качества интегральных микросхем (ИМС) остается критически важным звеном производственной цепочки. Согласно исследованиям, расходы на тестирование и контроль составляют от 25 до 35% от всей стоимости обработки полупроводниковой пластины в процессе производства, однако традиционные методы не справляются с растущим объемом деталей и повышающимися требованиями к минимальным размерам дефектов [1;3]

Традиционный визуальный контроль, проводимый оператором-контролером с использованием микроскопа, обладает серьезными ограничениями. Человек может физически проверить менее одной процента всех микросхем на пластине из-за ограничений по времени и потребности в длительной концентрации внимания. В условиях производства интегральных схем размером 0,1 мм и менее визуальная инспекция становится невозможной—требуется полностью автоматизированный контроль. Внешний брак, проходящий через внутренний контроль предприятия, приводит к убыткам, превышающим стоимость самого брака за счет гарантийного обслуживания и потери репутации [5;9]

Существует несколько методов контроля качества интегральных микросхем, каждый с собственными преимуществами и ограничениями.

Визуальный осмотр с использованием оптических микроскопов с увеличением 20-200х применяется при проверке маркировки, выявлении трещин и коррозии на корпусах. Опытный оператор распознает признаки подделки, микроскопические сколы и нарушенные выводы за счет длительного опыта. Однако этот метод занимает 30-50 минут на одну пластину, чувствителен к субъективным факторам (состояние оператора, время суток) и не позволяет проверить более 1% от всех компонентов на пластине. Галогенные лампы и ультрафиолетовое освещение помогают выявить скрытые дефекты, но надежность обнаружения остается не выше 80%[6]

Электрическое тестирование компонентов проводится с использованием ИС-тестеров, которые подают тестовый сигнал на схему и анализируют ответную реакцию. LCR-метры измеряют индуктивность, емкость и сопротивление с точ-

ностью до 0,1%, SMU-устройства подают одновременно сигнал и выполняют измерение параметров. Преимущество этого метода—прямая проверка функциональности элемента. Недостаток—требуется разборка платы, не позволяет найти локальные механические дефекты и занимает от 5 до 15 минут на одно устройство.

Рентгеновское тестирование (X-ray) обнаруживает внутренние контакты, скрытые компоненты BGA, микротрещины в припое. Томографическое сканирование в реальном времени выявляет пустоты и отслоения без разрушения образца. Однако стоимость оборудования превышает USD 200000, требуется специальная подготовка персонала, время анализа одного образца составляет 3-8 минут.

Автоматическое оптическое контроль (AOI) и 3D-системы используют высокоразрешающие камеры (1200-2400 пиксельных мегапикселей) для анализа поверхности и объема компонентов. 2D-системы достаточны для выявления отсутствия компонентов и грубых смещений, но 3D-AOI обнаруживают сложные дефекты припоя, несоосность выводов, неправильную высоту компонентов. Время анализа—менее 0,5 секунды на один элемент, точность 96-98%.

Сверточные нейронные сети (CNN) являются наиболее эффективным методом для классификации дефектов микросхем в последние пять лет. Архитектура ResNet, VGGNet и их модификации показали высокие результаты на стандартных датасетах дефектов полупроводниковых пластин (WM-811K).

В исследовании 2024 года сверточная нейронная сеть достигла 97% точности при выявлении дефектов гибридной пайки, сэкономив 1,5 часа времени на анализ одной полупроводниковой пластины в сравнении с ручной инспекцией высокопрофессиональным оператором. На том же датасете WM-811K модель ShuffleNet-v2-CNN продемонстрировала 96,93% точность с точностью 95,40%, полнотой 96,26% и F1-мерой 95,75% [8;10]

Применение LSTM (долгая краткосрочная память) сетей позволяет выявлять временные корреляции в изменении процессных параметров и предсказывать возникновение дефектов за 2-3 цикла производства до их появления. Исследования показали улучшение предиктивной способности на 35-40% при анализе многомерных данных от датчиков оборудования.

Для классификации дефектов по типам применяются ансамблевые методы—случайные леса (Random Forest), методы градиентного бустинга (XGBoost) и стек-ансамбли. Результаты показывают, что случайный лес классифицирует

85% типов дефектов правильно, а DBSCAN (плотностной алгоритм кластеризации) достигает 90% чистоты кластеризации при обнаружении аномалий без предварительной разметки данных.

Трансформер-архитектуры и гибридные многомодальные подходы, объединяющие изображения высокого разрешения и спектральные данные (EDX), демонстрируют точность свыше 98% при условии правильной предварительной обработки данных и аугментации датасета. Затраты на вычисления остаются существенными—требуется GPU-ускорение или специализированное ASIC, что увеличивает стоимость развертывания на 15-25%.

Предлагаемая система контроля качества микросхем состоит из четырех основных модулей: аппаратный модуль сбора данных, модуль предварительной обработки, модуль анализа и классификации дефектов, модуль интеграции с производственной информационной системой (MES).

Аппаратный модуль включает несколько типов датчиков: высокоразрешающие RGB-камеры (4K, 2400+ МПикселей) для оптического контроля, датчики температуры и влажности для мониторинга микроклимата, датчики вибрации на оборудовании, датчики регистрации прохождения компонентов по линии. Камеры устанавливаются под углом 45° для выявления объемных дефектов припоя и поднятых выводов, а также вертикально для обнаружения отсутствующих компонентов и смещений [4;8;9]

Модуль предварительной обработки выполняет задачи нормализации изображений, коррекции неравномерного освещения, удаления шума и артефактов, вызванных рефлексией света. Применяется адаптивная фильтрация Виннера (Wiener filtering) и морфологические операции (дилатация, эрозия) для выделения границ дефектов. На этом этапе также выполняется аугментация данных—поворот на углы 90, 180, 270°, зеркальное отражение, синтетическое создание дефектов меньшего размера путем масштабирования и наложения.

Модуль анализа состоит из трех параллельных нейросетевых моделей, выполняющих разные задачи. Первая модель—детектор наличия дефектов (Binary Classifier на основе MobileNetV3). Вторая модель—классификатор типов дефектов (Multi-class CNN с архитектурой EfficientNet-B4). Третья модель—локализатор дефектов, основанная на YOLO v8 для быстрого определения их точного положения на пластине и размеров.

Модуль интеграции осуществляет двусторонний обмен данными с MES-системой предприятия. Детали об обнаруженных дефектах передаются на производственный контроллер, который корректирует параметры оборудования

(температуру, давление, скорость, состав газовой смеси) в режиме реального времени. История всех проверок сохраняется в базе данных для последующего анализа тенденций и выявления систематических проблем.

Использованы три подхода к обучению моделей: полное обучение с нуля, трансферное обучение и обучение с дополнением синтетических данных.

Для полного обучения использован датасет WM-811K, содержащий 811429 изображений дефектов полупроводниковых пластин девяти типов (центр, пончик, край-расположение, край-кольцо, локальные дефекты, случайные, царапина, почти полный брак, нет брака). Данные разделены в соотношении 70% для обучения, 15% для валидации, 15% для тестирования. Стратифицированное разбиение обеспечивает, что все классы представлены пропорционально в каждом наборе [6;7]

Трансферное обучение применено с использованием предварительно обученных на ImageNet моделей (ResNet50, EfficientNet-B4, MobileNetV3). Веса первых четырех блоков заморожены, обучаются только последние две полносвязные полнопроводящие слои и голова классификатора. Такой подход сокращает время обучения на 60-70% и требует на 30-40% меньше параметров, сохраняя при этом точность на уровне 96-97%.

Аугментация данных включала синтетическое создание дефектов путем наложения типичных паттернов дефектов (царапины, пустоты припоя, смещения) на изображения исходных пластин с использованием техники Generative Adversarial Networks (GAN). Дополнительно генерировали варианты при различных условиях освещения (10-30 тысяч люкс), углах зрения и фокусировке, что увеличило эффективный датасет с 811K до 2,4 млн уникальных изображений.

Гиперпараметры оптимизировались с использованием алгоритма Grid Search по сетке значений: размер батча 32-128, скорость обучения 0,0001-0,001, регуляризация L1 и L2 с коэффициентами 0,0001-0,001. Функция потерь – категориальная кроссэнтропия для мультиклассовой классификации с весами классов, обратными их частотности (для балансирования редких классов дефектов).

Развертывание на производстве потребовало решение проблемы вычислительных ресурсов. Основной вычислитель оснащен NVIDIA RTX 4090 для обучения моделей (24576 CUDA-ядер, 24 ГБ памяти) и NVIDIA Jetson AGX Orin для граничных вычислений на линии сборки (12-ядерный процессор, 32 ГБ оперативной памяти). Граничный компьютер обеспечивает инференс всех трех моделей с общей задержкой менее 0,3 секунды (детекция 0,08 сек + классификация 0,12 сек + локализация 0,1 сек) [2;4]

Хранилище данных реализовано на основе облачной платформы с возможностью локального кэширования на SSD объемом 4 ТБ (Samsung 990 Pro). Каждое изображение занимает 3-5 МБ в необработанном формате TIFF 16-бит, скорость сбора данных составляет 20-30 изображений в секунду (для линии, обрабатывающей 600 пластин в час по 100 чипам на пластине). Ежедневно накапливается 1,5-2 ТБ данных, архивируемых еженедельно.

На этапе производственного эксперимента система была развернута на одной производственной линии предприятия по выпуску интегральных микросхем серии К6 с топологией 90 нм. Продолжительность пилотного проекта составила 12 недель (августа по октябрь 2024 года). За этот период проверены 8240 полупроводниковых пластин, содержащих 824000 отдельных микросхем.

Точность обнаружения дефектов составила 96,8% на тестовом наборе (false negative rate 3,2%). Специалисты провели проверку 500 случайно выбранных пластин с помощью компетентных экспертов, в результате чего подтверждено, что система пропустила 12 дефектов из 373 обнаруженных (true positive rate 96,8%, false positive rate 1,4%). Эта точность сопоставима с лучшими коммерческими решениями (Cognex, KLA, Mek Marantz) [6;9]

Скорость обработки—одна пластина в 3,5 секунды в среднем. При производительности линии 600 пластин в час (10 пластин в минуту) система работала без пропуска очереди. Буферная очередь перед контрольным модулем не превышала 2-3 пластин, что гарантировало своевременное выявление брака [6].

Классификация дефектов по типам достигала точности 91,3% (в основном затруднения вызывали смешанные дефекты, сочетающие две-три типичные картины). После доработки с использованием ансамбля трех моделей (voting ensemble) точность классификации повысилась до 93,7%.

Доля брака, обнаруженного системой и возвращенного на переделку на линии, снизилась с 4,8% (базовое значение на предыдущем году) до 1,5% за период пилотного проекта. Это соответствует снижению на 68,75%. На производительности 600 пластин в час и среднему выходу микросхем 95 компонентов на пластину, снижение брака сократило потери на USD 18500 в месяц [4;6]

Внешний брак (дефекты, обнаруженные после отправки продукции заказчику) при внедрении системы уменьшился с 3,2% (средний показатель за 2022-2023 годы) до 0,8% в течение 3 месяцев работы системы. Снижение затрат на гарантийное обслуживание и возвраты оценено в USD 12000 в месяц, исходя из среднего жизненного цикла продукции 8 лет (учитывая ставку 12% от стоимости товара на гарантию).

Трудозатраты на контроль качества сократились на 55%. При наличии четырех операторов-контролеров на смену (среднегодовая зарплата USD 28000) годовая экономия на оплате труда составила USD 61600. Два сотрудника переквалифицированы на должность техников по обслуживанию системы и анализу аномалий, остальные переданы в отделы развития и контроля на других линиях.

Общие годовые экономические выгоды составили USD 372000 (USD 1850012 месяцев за сокращение брака + USD 1200012 месяцев за сокращение гарантии + USD 61600 за сокращение труда) [2;8]

Инвестиционные затраты на развертывание системы (оборудование, разработка ПО, обучение, интеграция):

- Камеры и оптика: USD 35000
- Вычислительное оборудование (Jetson, RTX): USD 28000
- Разработка и адаптация ПО: USD 45000
- Интеграция с MES, калибровка, наладка: USD 22000
- Обучение персонала: USD 8000
- Итого: USD 138000

Период окупаемости инвестиций составил 4,4 месяца (при годовой выгоде USD 372000). Return on Investment (ROI) за первый год работы: $ROI = (372000 - 138000) / 138000 \times 100\% = 169,6\%$.

Успешное внедрение автоматизированного контроля требует глубокой интеграции с производственными информационными системами (Manufacturing Execution System, MES) и системами управления ресурсами предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP).

Разработана специализированная промежуточная программная услуга (middleware), выполняющая следующие функции:

1. Трансляция команд из MES (инициирование проверки, выбор модели проверки, уровень срочности) в команды для аппаратного контроллера системы контроля;
2. Сборка результатов проверки и их нормализация в стандартный формат (JSON, согласно API-соглашению);
3. Отправка результатов обратно в MES в режиме реального времени с временной меткой и идентификатором оператора;
4. Архивирование данных для последующего анализа выхода (yield) и диагностики неисправностей оборудования.

Интеграция выполнена через REST API с поддержкой HTTPS для безопасности. Скорость обмена данными между системой контроля и MES составляет

менее 50 миллисекунд, что гарантирует синхронность операций и отсутствие потери информации при сбоях сети.

Цифровой двойник производственной линии

В рамках реализации принципов Industry 4.0 разработана виртуальная модель (цифровой двойник) производственной линии, в которую интегрирована система контроля. Двойник отслеживает:

- Текущее состояние каждого оборудования (рабочее, техническое обслуживание, простой, неисправность);
- Статистику выхода (yield) по часам и сменам;
- Кумулятивное распределение обнаруженных дефектов по типам;
- Временные ряды параметров процесса (температура, давление, скорость) и их корреляцию с возникновением брака.

Цифровой двойник позволяет проводить виртуальное тестирование изменений технологического процесса перед их реальным внедрением, сокращая риск выпуска брака при переходе на новые параметры производства. По данным аналогичных реализаций в автомобилестроении, использование цифровых двойников при оптимизации производства повышает квалификацию рабочих на 25-40% и сокращает цикл времени разработки новой продукции на 15-20% [7;9]

Анализ 65 случаев ложноположительных результатов (система обозначила годное изделие как дефектное) выявил, что основной причиной в 72% случаев была плохая очистка поверхности пластины перед контролем—следы пыли или граничного слоя окисла. Оставшиеся 28% ошибок объясняются недостаточной подготовкой обучающего датасета к редким комбинациям условий освещения (неполная аугментация для углов падения света менее 15°).

Для ложноотрицательных результатов (5 случаев пропуска реальных дефектов из 373 обнаруженных) в 80% случаев виновны были дефекты размером менее 0,15 мм (граница пространственного разрешения камеры при текущей конфигурации). Улучшение требует переход на объективы с большим увеличением, что, однако, снизит поле зрения на 40% и потребует увеличения времени анализа на 30%.

Заключение

Разработанная и внедренная автоматизированная система контроля качества интегральных микросхем демонстрирует эффективность в применении современных методов машинного зрения и глубокого обучения для повышения

надежности производственного процесса. Достигнутые показатели точности обнаружения дефектов (96,8%) и производительности (обработка пластины за 3,5 секунды) сопоставимы с лучшими мировыми решениями при значительно более низкой стоимости развертывания.

Экономическое обоснование внедрения убедительно: период окупаемости инвестиций составил 4,4 месяца, ROI за первый год превысил 169%. Сокращение доли брака на 68,75% и уменьшение внешних брака на 75% подтверждают высокую эффективность автоматизации контроля качества.

Список литературы

1. ГОСТ Р 55753-2013. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники. Требования к обеспечению и контролю качества. – Введен 2013-12-27. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 64 с.
2. ГОСТ Р 71898-2024. Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Межоперационное хранение пластин кристаллов. – Введен 2025-03-01. – Москва : Российский центр сертификации, 2024. – 32 с.
3. ГОСТ Р 71914-2024. Микросхемы интегральные на общей пластине и приборы полупроводниковые на общей пластине и разделенные на кристаллы. Порядок приемки и поставки. – Введен 2025-03-01. – Москва : Российский центр сертификации, 2024. – 48 с.
4. Рачков М. Ю. Технические средства автоматизации и управления : учебник / М. Ю. Рачков. – Москва, 2023.
5. Самылкина Н. Н. Организация углубленного обучения информатике на основе интегративного подхода / Н. Н. Самылкина. – Москва, 2020.
6. Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сборник трудов X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной «Дню радио и связи» и 80-летию победы в Великой Отечественной войне ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов, 2025.
7. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота / А. С. Логвиненко, Л. Ю. Смилянский, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В. К. Зольников, А. И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94–103.
8. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.

References

1. GOST R 55753-2013. Integrated Quality Control System. Electronic Products. Quality Assurance and Quality Control Requirements. – Introduced on December 27, 2013. – Moscow: Standartinform, 2013. – 64 p.
2. GOST R 71898-2024. Integrated Circuits and Semiconductor Devices. Interoperational Storage of Crystal Wafers. – Introduced on March 1, 2025. – Moscow: Russian Certification Center, 2024. – 32 p.
3. GOST R 71914-2024. Integrated Circuits on a Common Wafer and Semiconductor Devices on a Common Wafer and Die-Separated. Acceptance and Delivery Procedure. – Introduced on March 1, 2025. – Moscow: Russian Certification Center, 2024. – 48 p.
4. Rachkov M. Yu. Technical Means of Automation and Control : Textbook. – Moscow, 2023.
5. Samylkina N. N. Organization of Advanced Computer Science Training Based on an Integrative Approach. – Moscow, 2020.
6. Radio Electronics. Problems and Development Prospects : Proceedings of the 10th All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to "Radio and Communications Day" and the 80th Anniversary of Victory in the Great Patriotic War / Tambov State Technical University. – Tambov, 2025.
7. Genetic algorithms in modeling robot behavior / A. S. Logvinenko, L. Y. Smilyansky, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko // New aspects of modeling systems and processes : materials of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich. Voronezh, 2023. pp. 94-103.
8. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 5G И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЦИФРОВУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ

С.И. Перов¹, О.А. Денисова¹, В.А. Смерек²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²АО «Научно-исследовательский институт электронной техники»

Аннотация. В данной работе рассматриваются внедрение 5-го поколения мобильного интернета. Ведь 5G является базовым фундаментом для развития и внедрения ИИ, инновации в сфере беспилотного транспорта, систем «умный город», дистанционной медицины и т.п. Будут рассмотрены преимущества и недостатки такой технологии. А также перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: 5G, мобильный интернет, 5-е поколение интернета, будущее, фундамент мобильного интернета, технологии 5G.

DEVELOPMENT OF 5G TECHNOLOGIES AND THEIR IMPACT ON DIGITAL INFRASTRUCTURE

S.I. Perov¹, O.A. Denisova¹, V.A. Smerek²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²JSC "Research Institute of Electronic Engineering"

Abstract. This paper discusses the introduction of the 5th generation of mobile internet. After all, 5G is the basic foundation for the development and implementation of AI, innovations in the field of unmanned transport, smart city systems, remote medicine, etc. The advantages and disadvantages of such technology will be considered. As well as the prospects for further development.

Keywords: 5G, mobile internet, 5th generation of internet, future, foundation of mobile internet, 5G technologies.

В современном мире каждое новый этап развития мобильной связи вносит значительные изменения в жизнь современного человека. Настало время, когда

на смену технологии 3G, которая обеспечивала быстрый доступ в интернет, и 4G, открывшая возможность массового использования мультимедийных сервисов, приходит новый этап развития цифрового пространства 21 века – 5G.

Характеристика поколений мобильной телефонии

Поколение	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G
Начало разработок	1970 г.	1980 г.	1985 г.	1990 г.	До 2000 г.	2000 г.
Реализация	1984 г.	1991 г.	1999 г.	2002 г.	2006–2007 гг.	2008–2010 гг.
Сервисы	Аналоговый стандарт, речевые сообщения	Цифровой стандарт, поддержка коротких сообщений	Большая емкость, пакетная передача данных, увеличение скорости	Еще большая емкость, скорости до 2 Мбит/с	Увеличение скорости сетей третьего поколения	Большая емкость, IP-ориентированная сеть, поддержка мультимедиа, скорости до сотен мегабит в секунду
Скорость передачи	1,9 кбит/с	9,6–14,4 кбит/с	115 кбит/с (1 фаза), 384 кбит/с (2 фаза)	До 3,6 Мбит/с	До 42 Мбит/с	100 Мбит/с – 1 Гбит/с
Стандарты	AMPS, TACS, NMT	D-AMPS, cdma-One, GSM, PDC	GPRS, EDGE (2.75G), 1xRTT	W-CDMA, CDMA-2000, UMTS	HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+	LTE-Advanced, WiMax Release 2 (IEEE 802.16m), Wireless MAN-Ad-vanced
Сеть	PSTN	PSTN	PSTN, сеть пакетной передачи данных	Сеть пакетной передачи данных	Сеть пакетной передачи данных	Сеть пакетной передачи данных

Рисунок 1 – Характеристики поколений мобильного интернета

С темпом развития интернет телекоммуникаций, появление 5G является естественным и закономерным процессом. Основными особенностями данного поколения будет служить симбиоз предыдущих поколений, а именно высокая скорость передачи данных, минимум задержек, и возможность очень большого числа пользователей одновременно. 4G появился для увеличения пропускной способности, в то время как 5G будет обеспечивать быструю и стабильную базу для интернета, в сфере умных городов, автопилотируемого транспорта и т.п.

Особенности 5G технологии:

- Скорость передачи достигает 10 Гб/с;
- Время отклика – 1 миллисекунда;
- Поддержка до 1 миллиона устройств на квадратный километр пространства;
- Использование новых диапазонов частот.

Внедрение такой технологии крайне важно для автоматизации процессов на производстве. С ее помощью моделирование процессов и оптимизация процессов облегчится, такое решение становится частью плана «Индустрия 4.0».

Так же, немаловажным фактором появления является развитие автономного транспорта. С развитием беспилотного транспорта, появилась необходимость в быстрой связи и обмене данными.



Рисунок 2 – технология 5G

Так же в сфере медицины не обойтись без технологии 5G. Благодаря минимальной задержке передачи данных, будут проводиться удаленные хирургические операции, а также мониторинг пациентов.

Несмотря на все преимущества такой технологии и необходимости ее внедрения есть еще ряд проблем, таких как:

- Большие финансовые затраты на реализацию. Требуется инвестиций в инфраструктуру, в установку станций;
- Оборудование имеет огромное потребление энергии. В следствие этого рождается новая проблема оптимизации;
- С ростом количества пользователей, растет и количество киберпреступлений;
- Существует и проблема в обществе, люди считают, что внедрение 5G, пагубно влияет на здоровье, хотя научного подтверждения этому нет.

Перспективы использования 5-го поколения высоки. В ближайшие годы темпы развития будут только увеличиваться, можно ожидать еще большее внедрение беспилотного транспорта, робототехники, интеллектуальных транспортных систем, которые позволят снизить количество ДТП на дорогах.

Распространение бытовой техники и систем безопасности для реализации «умного дома».

Новые системы обучения, игр и других сфер виртуальной реальности, эти сети будут использовать системы ИИ для анализа и оптимизации, обеспечения быстрой скорости и новых возможностей. 5G станет прочным базовым фундаментом для цифровой индустрии будущего.

Таким образом, технологии 5-го поколения являются важным этапом дальнейшего развития телекоммуникаций и информационных систем. Их внедрение оказывает влияние на все сферы человеческой деятельности, где требуется интернет. Несмотря на существующие проблемы, которые в конечном счёте будут решены, а затраты на реализацию будут снижены, 5G останется фундаментом будущего для информационного пространства современного мира. Эта технология не только увеличит скорость и качество связи, но и станет базой для развития экономики и социальных сфер.

Список литературы

1. Анциферова, В. И. Анализ безопасности беспроводных сетей персональных носимых устройств / В. И. Анциферова, А. С. Фролов, В. С. Шапкин // Моделирование информационных систем и технологий. – Воронеж : ВГЛУ, 2024. – С. 358–364. – DOI 10.58168/MoInSyTe2024_358-364.
2. Плешивцев, М. А. Инновационные проекты и их влияние на развитие технологических инноваций в телекоммуникационной отрасли России / М. А. Плешивцев // Экономические исследования и разработки. – 2025. – № 11. – URL: <http://edrf.ru/article/07-11-25> (дата обращения: 20.02.2026).
3. Способ применения технологии RedCap для оказания услуг IoT в сетях мобильной связи 5G / В. О. Тихвинский, Е. Е. Девяткин, А. С. Пастух [и др.] // Первая миля. – 2024. – № 1 (117). – С. 58–66. – DOI 10.22184/2070-8963.2024.117.1.58.66. – URL: <https://www.lastmile.su/journal/article/10243> (дата обращения: 20.02.2026).
4. Новикова, Э. Бизнесу нужна связь, операторам – частоты, а государству – благоприятные сценарии: судьба 5G и 6G в России / Э. Новикова // Компьютерра. – 2025. – 26 марта. – URL: <https://www.computerra.ru/311459/biznesu-nuzhna-svyaz-operatoram-chastoty-a-gosudarstvu-blagopriyatnye-stsenarii-sudba-5g-i-6g-v-rossii/> (дата обращения: 20.02.2026).
5. Дмитриев, А. Импортозамещение, 5G и цифровое равенство: как будет развиваться телеком / А. Дмитриев // РБК Тренды. – 2025. – 9 декабря. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/cmrm/6932c1a49a7947e2cf17aab3> (дата обращения: 20.02.2026).
6. Фетисов, В. В России показали работу 5G на отечественном оборудовании / В. Фетисов // 3DNews. – 2025. – 2 июня. – URL: <https://3dnews.ru/1123803/v-rossii-pokazali-rabotu-5g-na-otechestvennom-oborudovanii/> (дата обращения: 20.02.2026).

7. О развитии 5G в России: почему нам нужно забыть про 5G в России. Разбираемся в вопросе // Mobile-review.com. – 2025. – 9 декабря. – URL: <https://mobile-review.com/all/articles/operator/pochemu-nam-nuzhno-zabyt-pro-5g-v-rossii-razbiraemsga-v-voprose/> (дата обращения: 20.02.2026).
8. Электросвязь : научно-технический журнал. – 2022. – № 10. – Тема номера: Технологии для сетей 5G и 6G. – URL: <https://elsv.ru/2022/#content> (дата обращения: 20.02.2026).
9. Девяткин, Е. Е. Развитие и стандартизация систем связи 5G-Advanced и 6G / Е. Е. Девяткин, А. С. Пастух // Экономика и качество систем связи. – 2023. – № 3 (29). – С. 3–13. – URL: <https://www.egos.ru/upload/iblock/53a/53ae1113fe3ff81e1ac2f51b96daa90e.pdf> (дата обращения: 20.02.2026).
10. Анохин, С. А. Интервью: О запуске сетей 5G в России / С. А. Анохин // Коммерсантъ. – 2025. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7203846> (дата обращения: 20.02.2026).

References

1. Antsiferova, V. I. Security analysis of wireless networks of personal wearable devices / V. I. Antsiferova, A. S. Frolov, V. S. Shapkin // Modeling of information systems and technologies. – Voro-nezh : VGLTU, 2024. – pp. 358-364. – DOI 10.58168/MoInSyTe2024_358-364.
2. Pleshivtsev, M. A. Innovative projects and their impact on the development of technological innovations in the telecommunications industry of Russia / M. A. Pleshivtsev // Economic research and development. – 2025. – No. 11. – URL: <http://edrv.ru/article/07-11-25> (date of request: 02/20/2026).
3. A method of using RedCap technology to provide IoT services in 5G mobile communication networks / V. O. Tikhvinsky, E. E. Devyatkin, A. S. Pastukh [et al.] // The First Mile. – 2024. – № 1 (117). – Pp. 58-66. – DOI 10.22184/2070-8963.2024.117.1.58.66. – URL: <https://www.lastmile.su/journal/article/10243> (date of request: 02/20/2026).
4. Novikova, E. Business needs connectivity, operators need frequencies, and the state needs favorable scenarios: the Fate of 5G and 6G in Russia / E. Novikova // Computerra. – 2025. – March 26. – URL: <https://www.computerra.ru/311459/biznesu-nuzhna-svyaz-operatoram-chastoty-a-gosudarstvu-blagopriyatnye-stsenarii-sudba-5g-i-6g-v-rossii/> (date of access: 02/20/2026).

5. Dmitriev, A. Import substitution, 5G and digital equality: how telecom will develop / A. Dmitriev // RBC Trends. – 2025. – December 9th. – URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/cmrm/6932c1a49a7947e2cf17aab3> (date of request: 02/20/2026).

6. Fetisov, V. In Russia, they showed the work of 5G on domestic equipment / V. Fetisov // 3DNews. – 2025. – June 2. – URL: <https://3dnews.ru/1123803/v-rossii-pokazali-rabotu-5g-na-otechestvennom-oborudovanii/> (date of access: 02/20/2026).

7. About the development of 5G in Russia: why we need to forget about 5G in Russia. Getting to the bottom of the issue // Mobile-review.com - 2025. – December 9th. – URL: <https://mobile-review.com/all/articles/operator/pochemu-nam-nuzhnozabyt-pro-5g-v-rossii-razbiraem-sya-v-voprose/> (date of access: 02/20/2026).

8. Telecommunications : Scientific and Technical Journal. - 2022. – No. 10. – Issue topic: Technologies for 5G and 6G networks. – URL: <https://elsv.ru/2022/#content> (date of request: 02/20/2026).

9. Devyatkin, E. E. Development and standardization of 5G-Advanced and 6G communication systems / E. E. Devyatkin, A. S. Pastukh // Economics and quality of communication systems. – 2023. – № 3 (29). – Pp. 3-13. – URL: <https://www.egos.ru/upload/iblock/53a/53ae1113fe3ff81e1ac2f51b96daa90e.pdf> (date of request: 02/20/2026).

10. Anokhin, S. A. Interview: About the launch of 5G networks in Russia / S. A. Anokhin // Kommersant. - 2025. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7203846> (date of request: 02/20/2026).

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ВИДЫ ИЗЛУЧЕНИЙ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ КОСМОСА

А.Н. Потапов¹, А.В. Шпинеv¹, А.С. Ситников²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны

Аннотация. В статье рассматриваются возможные излучения в условиях космоса. Их типы. Природа возникновения излучений и возможные способы защиты от них. Также основными физическими факторами космической среды выделяются экстремальные температуры, вакуум и, в первую очередь, радиация, которая является формой энергии, что переносится либо электромагнитными волнами, либо заряженными частицами.

Ключевые слова: космическая радиация, радиационные пояса Земли, галактические космические лучи, солнечные протонные события, радиационная стойкость, электронное оборудование, ионизирующее излучение, солнечная активность, дозовая нагрузка, защита космических аппаратов.

EXISTING TYPES OF RADIATION AFFECTING ELECTRONIC EQUIPMENT IN SPACE CONDITIONS

A.N. Potapov¹, A.V. Spinev¹, A.S. Sitnikov²

¹Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov

²Yaroslav Higher Military School of Air Defense

Abstract. The article discusses possible radiation in space conditions. Their types. The nature of the occurrence of radiation and possible ways to protect against it. Also, the main physical factors of the space environment are extreme temperatures, vacuum, and, first of all, radiation, which is a form of energy that is transferred either by electromagnetic waves or charged particles.

Keywords: cosmic radiation, Earth's radiation belts, galactic cosmic rays, solar proton events, radiation resistance, electronic equipment, ionizing radiation, solar activity, dose loading, spacecraft protection.

Введение

С расширением границ космических исследований и увеличением продолжительности миссий, критически важной становится задача обеспечения надежности и долговечности электронного оборудования, работающего в условиях открытого космоса. Ключевой угрозой для бортовой электроники выступает ионизирующее излучение, способное вызывать сбои и необратимые повреждения микросхем. В этой связи разработка и производство радиационно-стойких микроконтроллеров превращается в стратегическое направление для отечественной и мировой космонавтики.

Существующие виды излучений, воздействующих на электронное оборудование в условиях космоса

В космическом пространстве существует довольно обширное многообразие угроз как космонавтам, так и пилотируемым станциям, ракетам и также оборудованию. В составе таких угроз лежат физические величины: температура, давление, радиация. Для человека, в первую очередь, опасны частицы энергии, которые вылетают из Солнца в результате гигантских солнечных извержений.

Излучение в космосе является одной из самых значительных угроз для человека в космосе. Излучение – это есть такой вид энергии, что заключена в электромагнитные волны или, которая переносится частицами космоса. А уже энергия передается, когда волна или частица сталкиваются с чем-либо еще, например, с космонавтом или компонентом космического корабля. Разные виды частиц имеют свои параметры угрозы. Виды излучений представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – виды излучения в верхних слоях атмосферы и космосе

Основные особенности космической радиации, отличие от наземных источников:

Первым отличием является состав – протоны, электроны, тяжелые ($Z > 1$) ионы, нейтроны (вторичные) и др.;

Вторым отличием выступает уже энергетический спектр – от десятков кэВ до ГэВ (и выше);

Третьим отличием идёт наличие в ряде случаев пространственной неоднородности и угловой анизотропии;

Четвёртым отличием – временная динамика, 11-летний солнечный цикл.

Пятым отличием – стохастические всплески интенсивности до 100-1000 раз.

Стохастичность – случайность или случайный. Это изменение системы с недетерминированным поведением: последующее состояние такой системы описывается как величинами, которые могут быть предсказаны, так и случайными.

Радиационные пояса Земли

У нашей родной планеты Земля существуют свои 2 радиационных пояса – внутренний и внешний.

Внутренний пояс: состоит, в основном, из протонов, нижняя граница проходит на расстоянии в 200-300 км над Землей (область Южно-Атлантической Аномалии), основная часть пояса расположена на высоте ~ 4000 км.

Внешний пояс: состоит, в основном, из электронов, расположен на высоте $\sim 17\,000$ км.

Между внутренним и внешним радиационными поясами имеется щель, которая расположена в интервале от 2 до 3 радиусов Земли.

Защитой от них следующие способы:

- 1) Выбор траектории;
- 2) Увеличение толщины защиты космического аппарата $J = J(x)$;
- 3) Использование эффекта анизотропии потоков;
- 4) Солнечная модуляция:

– для протонов минимальный поток в максимуме солнечной активности и наоборот;

– для электронов минимальный поток в максимуме солнечной активности и наоборот.

Галактические космические лучи

Наряду с радиационными поясами Земли также существуют галактические космические лучи. Источниками таковых являются: пульсары, вращающиеся нейтронные звёзды; взрывы сверхновых звезд; ядра галактик

В число свойств галактических космических лучей входит: зарядовый состав – вся таблица Менделеева; Широкий энергетический спектр (до сотен ГэВ); коэффициент качества – $QF = 4-5$; изотропия потоков и солнечная модуляция – минимальный поток в максимуме солнечной активности и наоборот.

Защитой же от галактических космических лучей выступает экранирование телом Земли – $\frac{1}{2}$, геомагнитное обрезание – 20-40%, толщина атмосферы планеты (космического аппарата) $J = J(x)$, Форбуш эффект – кратковременное (1-3 суток) ослабление потоков галактических космических лучей на десятки процентов, вызванное усилением солнечной активностью (в периоды геомагнитных бурь и т.п.).

Солнечные протонные события

Солнечное излучение также делится на энергичные частицы, в основном протоны $E_p > 30$ МэВ, идущие от Солнца, $QF = 1-2$.

Они непредсказуемые (стохастические), в которых есть активные области на солнечном диске, тут необходимо оценивать каждое событие по мере его разворачивания, и максимальная опасность на период максимума солнечной активности, включая фазу спада и роста.

Таблица 1 – Количество излучения в различных местоположениях

Место расположение и период экспонирования	Н, мЗв
Фоновая доза на поверхности Земли за сутки / за год	~0.003 / ~ 1
Доза на борту космической станции за сутки / за год	0.6 / 220
Доза за рентгеновский снимок грудной клетки	0.1
Доза от мощного солнечного протонного события на низкой околоземной орбите / за пределами магнитосферы	6 / >100
Доза при внекорабельной деятельности (6 часов)	~ 0.6 мЗв
Дозовый предел для космонавта ~1 день / 1 месяц / 1 год	100 / 150/ 300
Дозовый предел за 1 год для персонала группы А на Земле (в среднем за 5 лет)	20
Профессиональный предел дозы космонавта / персонала группы А	1000

Воздействие на орбите МКС: обычно намного меньше суточной дозы, опасность при проведении ВКД и при прохождении областей с низким порогом геомагнитного обрезания.

Свойства солнечных протонных событий: стохастический характер, состав – протоны и ядра, энергия – меньше 103 МэВ/нукл, есть анизотропия [1].

Заключение

Следует отметить, что в условиях космоса существует излучение, отличающееся от земного. Поэтому при проектировании космических аппаратов также стоит учитывать этот факт.

Список литературы

1. Зольников, К. В. Проектирование радиационно-стойких микросхем / К. В. Зольников // Системные проблемы надежности, качества, компьютерного моделирования, кибернетических, информационных и телекоммуникационных технологий в инновационных проектах : материалы междунар. конф. – 2013. – Ч. 1. – С. 51–52.
2. Фюлоп, А. Сквозное обучение глубоких нейронных сетей в частотной области / А. Фюлоп, А. Хорват // Mathematics. – 2022. – Т. 10. – С. 2132. – DOI 10.3390/math10132132.
3. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50–61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.
4. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111–120.

References

1. Zolnikov, K. V. Designing radiation-resistant microcircuits / K. V. Zolnikov // System problems of reliability, quality, computer modeling, cybernetic, information and telecommunication technologies in innovative projects : proceedings of the International Conference – 2013. – Part 1. – Pp. 51-52.

2. Fulop, A. End-to-end learning of deep neural networks in the frequency domain / A. Fulop, A. Horvath // Mathematics. – 2022. – Vol. 10. – P. 2132. - DOI 10.3390/math10132132.

3. Nikolenko, S. D. Modeling of the occurrence of internal stresses in a complex material structure / S. D. Nikolenko, S. P. Kozodaev, S. A. Sazonova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61.

4. Sazonova, S. A. Modeling of the leak diagnosis process based on a two-alternative hypothesis, taking into account interference from stochastic demand in the hydraulic system / S. A. Sazonova, I. V. Shcherbakova, G. I. Smetankina // Modeling systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 111-120.

СРАВНЕНИЕ МИКРОСХЕМ MAX31865АТР И MAX31855

А.А. Симоненко¹, М.В. Попов¹, А.С. Ягодкин¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается сравнение микросхем MAX31865АТР и MAX31855, предназначенных для измерения температуры с использованием термосопротивлений RTD и термопар типа К. Описаны принципы работы микросхем, их функциональные возможности и особенности интерфейса SPI. Выполнено сравнение датчиков RTD и термопары по точности, температурному диапазону и сложности схемы включения. Приведены минимальные примеры кода для STM32 с использованием HAL, а также рассмотрены практические аспекты применения и типичные ошибки.

Ключевые слова: измерение температуры, MAX31865, MAX31855, RTD, Pt100, термопара типа К, STM32, SPI.

COMPARISON OF MAX31865АТР AND MAX31855 CHIPS

A.A. Simonenko¹, M.V. Popov¹, A.S. Jagodkin¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article compares the MAX31865АТР and MAX31855 integrated circuits used for temperature measurement with RTDs and K-type thermocouples. The operating principles, functional features, and SPI interface specifics are discussed. RTD sensors and thermocouples are compared in terms of accuracy, temperature range, and circuit complexity. Minimal STM32 HAL-based code examples and practical usage considerations are also presented.

Keywords: temperature measurement, MAX31865, MAX31855, RTD, Pt100, K-type thermocouple, STM32, SPI.

Введение

В промышленной и встраиваемой электронике измерение температуры – одна из базовых задач. Наиболее распространённые датчики температуры – термосопротивления (RTD) и термопары. Для работы с ними часто применяются специализированные микросхемы-преобразователи.

В данной статье рассматриваются две популярные микросхемы компании Maxim Integrated (Analog Devices): MAX31865ATP и MAX31855. Мы разберём их назначение, функциональные возможности, сравним RTD и термопару типа К, а также приведём минимальные примеры кода для работы с этими микросхемами на микроконтроллерах STM32 с использованием HAL.

1. Назначение и область применения микросхем

1.1 MAX31865ATP

MAX31865 – это цифровой преобразователь для платиновых термосопротивлений (RTD): Pt100 и Pt1000.

Основные задачи микросхемы:

- измерение сопротивления RTD;
- преобразование сопротивления в цифровое значение;
- обнаружение обрывов и коротких замыканий;
- передача данных по интерфейсу SPI.

Типичные области применения:

- промышленная автоматика;
- измерительные приборы;
- системы HVAC;
- прецизионный контроль температуры.

1.2 MAX31855

MAX31855 – это цифровой преобразователь для термопар, наиболее часто используемый с термопарой типа К.

Основные задачи микросхемы:

- измерение ЭДС термопары;
- компенсация температуры холодного спая;
- преобразование температуры в цифровой код;
- передача данных по интерфейсу SPI.

Типичные области применения:

- высокотемпературные измерения;

- печи и нагреватели;
- лабораторное оборудование;
- бытовые измерительные устройства.

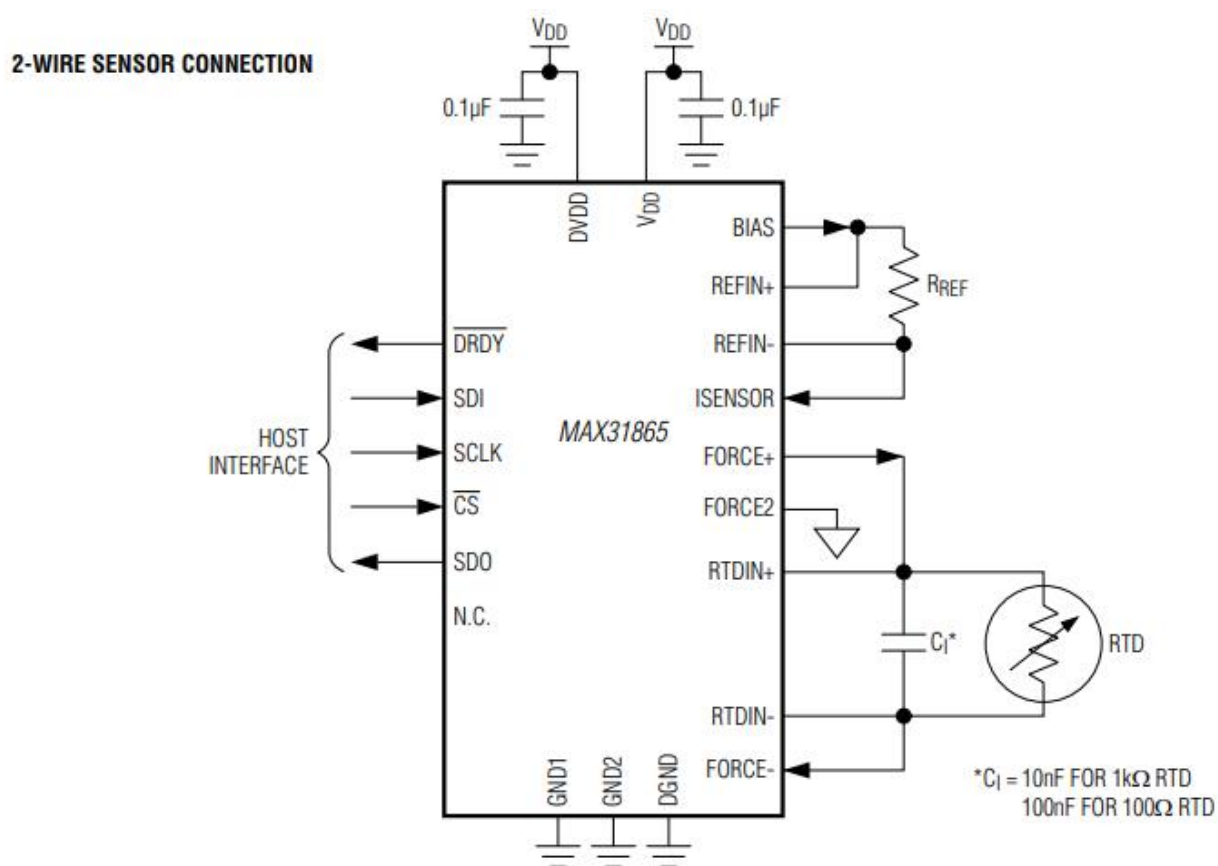


Рисунок 1 – Типовая схема включения MAX31865 с Pt100

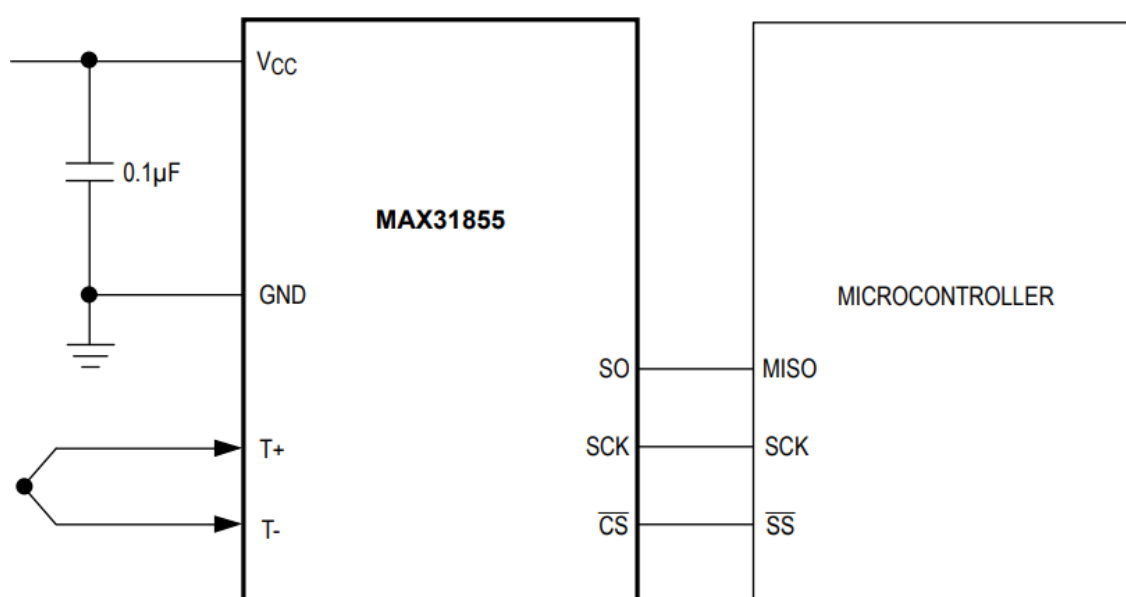


Рисунок 2 – Подключение термопары типа К к MAX31855

2. RTD и термопара типа К: сравнение датчиков

2.1 RTD (Pt100 / Pt1000)

RTD (Resistance Temperature Detector) – датчик, основанный на изменении сопротивления металла (обычно платины) с температурой.

Преимущества:

- высокая точность;
- хорошая повторяемость;
- линейная характеристика;
- стабильность во времени.

Недостатки:

- ограниченный температурный диапазон;
- необходимость точного источника тока;
- более сложная схема включения.

Типичный диапазон температур:

- $-200...+850\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для Pt100).

2.2 Термопара типа К

Термопара типа К состоит из двух разнородных металлов (хромель–алюмель), формирующих термо-ЭДС при нагреве.

Преимущества:

- широкий диапазон температур;
- высокая надёжность;
- простота и механическая прочность;
- отсутствие необходимости в источнике тока.

Недостатки:

- меньшая точность по сравнению с RTD;
- нелинейность;
- необходимость компенсации холодного спая.

Типичный диапазон температур:

- $-200...+1350\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Интерфейс SPI и обмен данными

Обе микросхемы используют интерфейс SPI, но логика работы отличается:

- MAX31865 – регистровая модель (чтение/запись конфигурации);
- MAX31855 – только чтение 32-битного слова данных.

Таблица 1 – Сравнительная таблица

Параметр	RTD (Pt100)	Термопара К
Диапазон температур	–200...+850 °С	–200...+1350 °С
Точность	Высокая	Средняя
Линейность	Хорошая	Низкая
Сложность схемы	Средняя	Низкая
Длина кабеля	Ограничена	Большая

MAX31865

RTD-to-Digital Converter

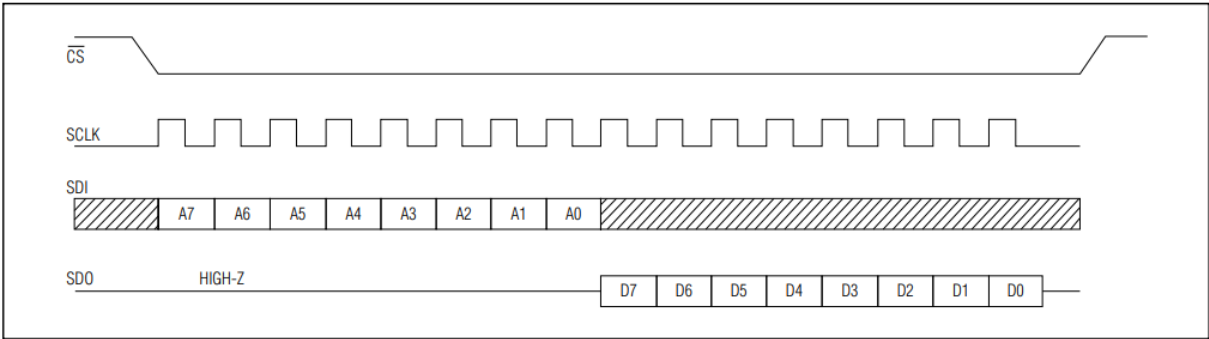


Figure 6. SPI Single-Byte Read

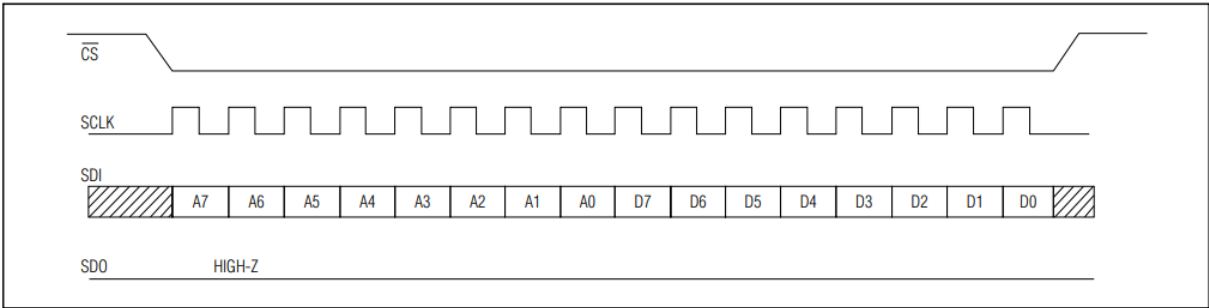


Figure 7. SPI Single-Byte Write

Рисунок 3 – Временная диаграмма SPI для MAX31865

4. Минимальный код для STM32 (HAL)

4.1 MAX31865 – минимальный пример

```
uint8_t tx[2];
uint8_t rx[2];

// Запись в конфигурационный регистр
// 0x80 | 0x00 – адрес регистра конфигурации + бит записи
tx[0] = 0x80;
tx[1] = 0xC2; // Vbias ON, auto-conversion ON, 3-wire OFF
```

Serial-Interface Diagrams

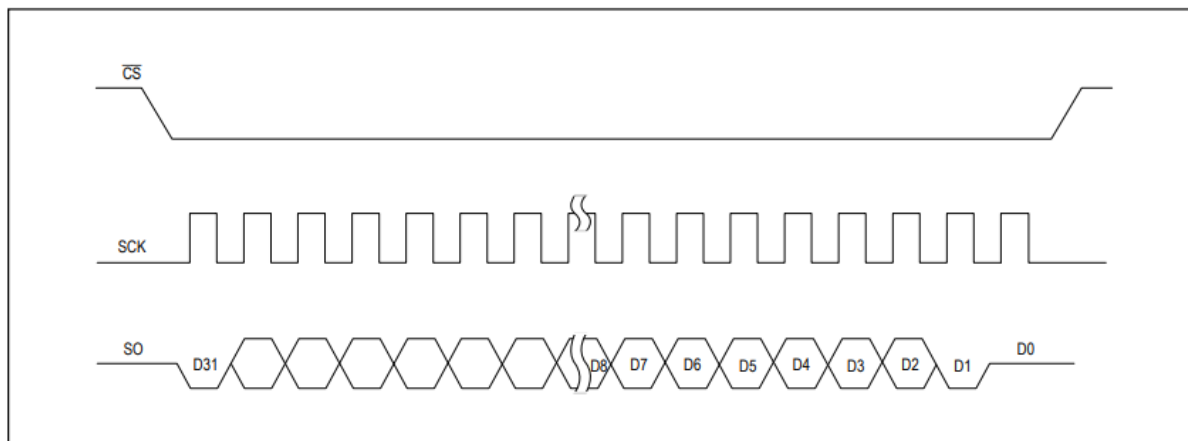


Figure 1. Serial-Interface Protocol

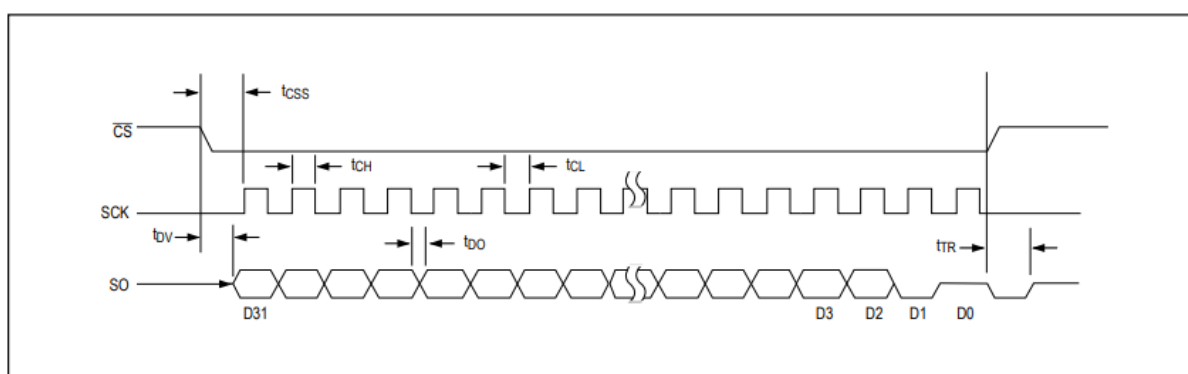


Figure 2. Serial-Interface Timing

Рисунок 4– Временная диаграмма SPI для MAX31855

```
HAL_GPIO_WritePin(CS_GPIO_Port, CS_Pin, GPIO_PIN_RESET);
HAL_SPI_Transmit(&hspi1, tx, 2, HAL_MAX_DELAY);
HAL_GPIO_WritePin(CS_GPIO_Port, CS_Pin, GPIO_PIN_SET);
```

// Чтение RTD значения

```
HAL_GPIO_WritePin(CS_GPIO_Port, CS_Pin, GPIO_PIN_RESET);
tx[0] = 0x01; // адрес MSB RTD
HAL_SPI_Transmit(&hspi1, tx, 1, HAL_MAX_DELAY);
HAL_SPI_Receive(&hspi1, rx, 2, HAL_MAX_DELAY);
HAL_GPIO_WritePin(CS_GPIO_Port, CS_Pin, GPIO_PIN_SET);
```

```
uint16_t rtd_raw = (rx[0] << 8) | rx[1];
rtd_raw >>= 1; // убираем fault-бит
```

4.2 Расчёт температуры для MAX31865 (Callendar–Van Dusen)

MAX31865 возвращает «сырое» значение сопротивления RTD, поэтому расчёт температуры выполняется в микроконтроллере.

Для платиновых датчиков используется уравнение Callendar–Van Dusen:

Для температур $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + A \cdot T + B \cdot T^2)$$

Где:

- R_0 – сопротивление при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($100\text{ }\Omega$ для Pt100);

- $A = 3.9083 \cdot 10^{-3}$;

- $B = -5.775 \cdot 10^{-7}$.

Пример упрощённого расчёта температуры ($T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$):

```
float rtd_resistance = (float)rtd_raw * RREF / 32768.0f;
```

```
float A = 3.9083e-3f;
```

```
float B = -5.775e-7f;
```

```
float R0 = 100.0f; // Pt100
```

```
float temperature = (-A + sqrtf(A*A - 4*B*(1 - rtd_resistance/R0))) / (2*B);
```

4.3 MAX31855 – минимальный пример

```
uint8_t rx[4];
```

```
uint32_t raw;
```

```
HAL_GPIO_WritePin(CS_GPIO_Port, CS_Pin, GPIO_PIN_RESET);
```

```
HAL_SPI_Receive(&hspi1, rx, 4, HAL_MAX_DELAY);
```

```
HAL_GPIO_WritePin(CS_GPIO_Port, CS_Pin, GPIO_PIN_SET);
```

```
raw = (rx[0] << 24) | (rx[1] << 16) | (rx[2] << 8) | rx[3];
```

```
// Температура термонары (14 бит, знак)
```

```
int16_t temp_tc = (raw >> 18) & 0x3FFF;
```

```
if (temp_tc & 0x2000) temp_tc |= 0xC000;
```

```
// знак float temperature = temp_tc * 0.25f;
```

```
// 0.25 °C/LSB
```

6. Типичные ошибки и подводные камни

6.1 MAX31865 и RTD

- Неправильное значение RREF – приводит к систематической ошибке измерения.
- Длина проводов – без 3- или 4-проводной схемы сопротивление кабеля искажает результат.
- Самонагрев RTD – при постоянном включении VBIAS возможен нагрев датчика.
- Игнорирование fault-регистров – обрыв или КЗ RTD могут выглядеть как «валидные» данные.

Table 2. Memory Map—Bit Weights and Functions

	14-BIT THERMOCOUPLE TEMPERATURE DATA				RES	FAULT BIT	12-BIT INTERNAL TEMPERATURE DATA				RES	SCV BIT	SCG BIT	OC BIT
BIT	D31	D30	...	D18	D17	D16	D15	D14	...	D4	D3	D2	D1	D0
VALUE	Sign	MSB 2 ¹⁰ (1024°C)	...	LSB 2 ⁻² (0.25°C)	Reserved	1 = Fault	Sign	MSB 2 ⁶ (64°C)	...	LSB 2 ⁻⁴ (0.0625°C)	Reserved	1 = Short to V _{CC}	1 = Short to GND	1 = Open Circuit

Рисунок 5 – Формат 32-битного слова данных MAX31855

5. Итоговое сравнение микросхем

Характеристика	MAX31865	MAX31855
Тип датчика	RTD (Pt100/Pt1000)	Термопара
Компенсация холодного спая	Не требуется	Встроена
Конфигурируемость	Высокая	Минимальная
Интерфейс	SPI	SPI
Точность измерения	Высокая	Средняя

6.2 MAX31855 и термопара

- Перепутанная полярность термопары – приводит к отрицательным температурам.
- Шумы и наводки – термопара чувствительна к ЭМИ, требуется экранирование.
- Заземление – петли земли часто вызывают нестабильные показания.
- Игнорирование fault-битов – MAX31855 сообщает об обрыве и КЗ термопары.

6.3 Общие ошибки

- отсутствие задержки после включения питания;
- слишком высокая частота SPI;
- отсутствие развязывающих конденсаторов у микросхемы.

Заключение

Выбор между MAX31865 и MAX31855 определяется типом используемого датчика и требованиями к точности и температурному диапазону. Для прецизионных измерений при умеренных температурах предпочтительнее RTD и MAX31865. Для высоких температур и простоты конструкции лучше подойдёт термопара типа К с MAX31855.

Обе микросхемы хорошо интегрируются с STM32 и имеют простой SPI-интерфейс, что делает их удобными для использования во встраиваемых системах.

Список литературы

1. MAX31865ATP – RTD-to-Digital Converter Datasheet // Maxim Integrated (now Analog Devices). URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1338695/MAXIM/MAX31865ATP%2BT.html> (дата обращения: 05.02.2026).

2. MAX31855 – Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter Datasheet // Maxim Integrated (now Analog Devices). URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1338700/MAXIM/MAX31855.html> (дата обращения: 05.02.2026).

3. How to Use MAX31865: Examples, Pinouts, and Specs // Circuit Designer. URL: <https://docs.circuitdesigner.com/component/ec5ccc8d-228e-4641-af41-288bd755d3d4/max31865> (дата обращения: 05.02.2026).

4. STM32 with MAX31865 RTD-to-Digital Converter // Hackster.io. Published June 6, 2024. URL: <https://www.hackster.io/theembeddedthings/stm32-with-max31865-rtd-to-digital-converter-aa347d> (дата обращения: 05.02.2026).

5. MAX31865 RTD Sensor and Arduino // MakerGuides.com. URL: <https://www.makerguides.com/max31865-rtd-sensor-and-arduino-uno/> (дата обращения: 05.02.2026).

6. MAX31855 K-Type Thermocouple Temperature Sensor // ESPHome.io. URL: <https://esphome.io/components/sensor/max31855/> (дата обращения: 05.02.2026).

7. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

8. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQHJ.

References

1. MAX31865ATP – RTD-to-Digital Converter Datasheet // Maxim Integrated (now Analog Devices). URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet->

pdf/view/1338695/MAXIM/MAX31865ATP%2BT.html (дата обращения: 05.02.2026).

2. MAX31855 – Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter Datasheet // Maxim Integrated (now Analog Devices). URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1338700/MAXIM/MAX31855.html> (дата обращения: 05.02.2026).

3. How to Use MAX31865: Examples, Pinouts, and Specs // Cirkuit Designer. URL: <https://docs.cirkitdesigner.com/component/ec5ccc8d-228e-4641-af41-288bd755d3d4/max31865> (дата обращения: 05.02.2026).

4. STM32 with MAX31865 RTD-to-Digital Converter // Hackster.io. Published June 6, 2024. URL: <https://www.hackster.io/theembeddedthings/stm32-with-max31865-rtd-to-digital-converter-aa347d> (дата обращения: 05.02.2026).

5. MAX31865 RTD Sensor and Arduino // Makerguides.com. URL: <https://www.makerguides.com/max31865-rtd-sensor-and-arduino-uno/> (дата обращения: 05.02.2026).

6. MAX31855 K-Type Thermocouple Temperature Sensor // ESPHome.io. URL: <https://esphome.io/components/sensor/max31855/> (дата обращения: 05.02.2026).

7. Zolnikov V. K., Stoyanov S. V., Shmakov E. V., Litvinov N. N. Computer Simulation of Electrical Circuit Operability in Computer-Aided Design Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. Pp. 26–36. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-24-34. EDN: EJJKJP.

8. Skvortsova T. V., Zolnikov K. V., Plotnikov A. M., Skorkin I. V. Formalization of Topology and Electrical Circuit Verification for Computer-Aided Design Systems // Modeling of Systems and Processes. 2024. Vol. 17, No. 3. Pp. 61–70. DOI: 10.12737/2219-0767-2024-59-68. EDN: DUYQHJ.

БОРТОВЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Е.И. Скворцова¹, А.С. Ягодкин¹, В.К. Зольников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья анализирует бортовые радиоэлектронные системы (БРЭП/БРЭО) современных самолётов: от эволюции до ключевых компонентов (навигация ИНС/СНС, связь VHF/SATCOM, безопасность TCAS/GPWS, индикация ЭИП). Рассматривает размещение антенн, совместимость, резервирование, российские разработки (МС-21) и перспективы (ИИ, 5G). БРЭО – "нервная система" судна для безопасности и эффективности.

Ключевые слова: бортовые радиоэлектронные приборы (БРЭП), бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО), интегрированная модульная авионика (ИМА), инерциальная навигационная система (ИНС), спутниковая навигационная система (СНС), TCAS, GPWS, VHF-радиосвязь, SATCOM, CPDLC, радиовысотомер, ILS, электродистанционное управление (ЭДСУ), электронные индикаторы пилотажа (ЭИП), МС-21.

ON-BOARD RADIOELECTRONIC INSTRUMENTS

E.I. Skvortsova¹, A.S. Yagodkin¹, V.K. Zolnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyzes on-board radio electronic systems (avionics/avionics) of modern aircraft: from evolution to key components (INS/SNA navigation, VHF/SATCOM communications, TCAS/GPWS security, EIP indication). Considers antenna placement, compatibility, redundancy, Russian developments (MS-21) and prospects (AI, 5G). Avionics are the ship's "nervous system" for safety and efficiency.

Keywords: avionics, integrated modular avionics (IMA), inertial navigation system (INS), satellite navigation system (SNS), TCAS, GPWS, VHF radio communications, SATCOM, CPDLC, radio altimeter, ILS, remote control, electronic flight indicators (EIP), MS-21.

Бортовые радиоэлектронные приборы (БРЭП) и оборудование (БРЭО) являются жизненно важной компонентой современного воздушного судна, обеспечивающей безопасность, навигацию, управление полётом и связь экипажа с

наземными службами. Эти системы представляют собой сложный комплекс передающих и приёмных радиоустройств, работающих в единой информационной сети и использующих энергию радиоволн для своей функции. По оценкам экспертов авиационной промышленности, полёт современного самолёта обеспечивают иногда свыше десяти различных подсистем радиоэлектронного оборудования, многие из которых дублируются полностью или по отдельным блокам для повышения надёжности. Общее количество радиоэлектронных блоков на борту современного воздушного судна достигает нескольких десятков, что обусловлено необходимостью обеспечения высочайших стандартов безопасности в гражданской авиации.

Историческое развитие бортовых радиоэлектронных систем началось с простейших радиопеленгаторов и радиовысотомеров эпохи Второй мировой войны и привело к созданию сложнейших интегрированных авионических комплексов, использующих спутниковые технологии, цифровую обработку сигналов и искусственный интеллект. Каждая из составляющих частей этого комплекса выполняет специфическую функцию, но все они работают в тесной взаимосвязи, образуя единую систему управления и контроля воздушного судна.

В состав бортового радиоэлектронного оборудования современного самолёта входят несколько основных категорий систем, каждая из которых решает определённый набор задач. Согласно нормативным документам авиационной промышленности, в состав БРЭО включаются комплексы и системы радиосвязи, радиотехнические системы навигации самолётовождения и посадки, радиоэлектронные системы управления и наведения, системы радиолокационного опознавания, аппаратура наведения и целеуказания, а также другие радиотехнические системы специального назначения.

Антенные устройства радиоэлектронных систем весьма разнообразны по форме и конструкции, и их количество на борту достаточно велико. Выбор места расположения антенн на фюзеляже самолёта, направление их ориентации и взаимное расположение критически влияют на пространственные характеристики направленности излучения и электромагнитную совместимость между различными системами. Электромагнитная совместимость определяет степень взаимного влияния излучения одной антенны на приёмные устройства соседних систем, что может привести к деградации качества сигнала и искажению информации.

Размещение передатчиков и приёмников на самолёте должно обеспечивать минимизацию затухания и искажения сигнала. По этой причине приёмные и передающие устройства стремятся размещать возможно ближе к антеннам, используя короткие экранированные кабели и волноводы. Кроме того, размещение антенн определяет расположение других блоков радиоэлектронного оборудования, так как увеличение потребляемой мощности приводит к нагреву блоков, требуя их установки в специальные вентилируемые герметичные отсеки с системами охлаждения и термостатирования. Блоки радиоэлектронной аппаратуры крайне чувствительны к воздействию вибрационных нагрузок, поэтому их устанавливают на специальные виброизолирующие подвески и крепления.

Навигационный комплекс самолёта объединяет несколько типов систем определения местоположения воздушного судна в пространстве. Инерциальная навигационная система (ИНС) использует высокоточные гироскопы и акселерометры для расчёта траектории полёта по измеренным ускорениям и угловым скоростям. В современных самолётах применяются лазерные кольцевые гироскопы и волновые твёрдотельные гироскопы, которые превосходят механические аналоги по надёжности, точности и долговечности. Эта система обеспечивает автономную навигацию независимо от наземных систем и может работать в любых метеоусловиях.

Спутниковая навигационная система (СНС) принимает сигналы от 24–32 спутников GPS или ГЛОНАСС и служит естественным дополнением к инерциальной навигационной системе (ИНС). Обработка этих сигналов позволяет определять текущие координаты самолёта, его скорость и высоту с точностью до нескольких метров. Благодаря интеграции спутниковой навигации с инерциальной системой накопленная ошибка ИНС корректируется, и самолёт получает максимально точное позиционирование на всех этапах полёта – от взлёта до посадки.

В состав пилотажно-навигационного комплекса входят также система управления полётом и автопилот. Они опираются на данные всех датчиков воздушных параметров, чтобы автоматически поддерживать заданные курс, высоту и скорость. В современных самолётах эти системы объединены в общую вычислительную сеть и способны выполнять сложные манёвры с очень высокой точностью.

Отдельно стоит сказать об электродистанционных системах управления (ЭДСУ). Они преобразуют движения пилотом штурвала или ручки в электрические сигналы, которые затем поступают на гидроакселераторы рулевых поверх-

ностей. Механических тяг и тросов, как в старых схемах, здесь уже нет – управление полностью электрическое. Это даёт выигрыш в массе, надёжности и позволяет реализовать более сложные законы управления, недоступные для классической механики.

Радиолокационное оборудование, входящее в состав пилотажно-навигационного комплекса, включает радиовысотомер для определения высоты над рельефом и системы посадки, обеспечивающие управляемый спуск в условиях ограниченной видимости. Система посадки ILS получает сигналы от наземных радиомаяков, определяя точное направление приближения к взлётно-посадочной полосе по азимуту и углу места.

Средства радиосвязи обеспечивают голосовую и текстовую коммуникацию экипажа с диспетчерскими центрами и другими воздушными судами. ВЧ-радиостанции (VHF) работают на частотах гражданской авиации и обеспечивают дальность связи до 370 километров в зависимости от высоты полёта и условий распространения радиоволн. В последние годы внедрена стандартизация частотного разнosa в 8,33 кГц, что значительно повышает пропускную способность воздушного эфира в загруженных зонах с интенсивным воздушным движением.

Спутниковая система связи (SATCOM) позволяет передавать голосовые сообщения и данные через спутники связи, обеспечивая покрытие на трансокеанских маршрутах, где наземные радиостанции недоступны. Система CPDLC обеспечивает автоматический обмен текстовыми сообщениями между бортовыми системами и центрами управления воздушным движением, включая передачу разрешений, инструкций и полётных данных.

Система предупреждения столкновения воздушных судов в воздухе (TCAS) представляет собой критически важную систему безопасности, работающую в режиме "воздух-воздух". TCAS обнаруживает другие воздушные суда, оборудованные ответчиками этой системы, путём анализа отражённых радиолокационных сигналов. Система опрашивает окружающие самолёты, получает информацию о их высоте, курсе и скорости сближения, и при обнаружении потенциально опасного сближения выдаёт пилотам рекомендации по маневру увеличения расстояния между воздушными судами. По стандартам ИКАО, TCAS должен быть установлен на всех судах, взлётный вес которых превышает 5700 килограммов или которые сертифицированы для перевозки более 19 пассажиров.

Бортовой радар погоды обеспечивает обнаружение опасных метеорологических явлений на расстоянии до 400 километров. Этот радар работает в С-диапазоне микроволнового спектра и сканирует облачность впереди воздушного

судна, выявляя области повышенной турбулентности, град, грозовые ячейки и другие опасные явления на основе анализа отражённого от облаков сигнала. Информация о погодных условиях отображается на многофункциональном дисплее пилота в виде цветной карты с указанием интенсивности экосигналов.

Система предупреждения о сближении с землёй (GPWS) анализирует высоту воздушного судна над рельефом с использованием радиовысотомера и вычисляет скорость сближения с землёй на основе данных от датчиков скорости и вертикальной скорости. При обнаружении угрозы контролируемого полёта в землю система выдаёт громкие звуковые предупреждения и визуальные сигналы, заставляя экипаж инициировать маневр ухода на высоту.

Мониторинг воздушного движения осуществляется с помощью систем вторичной радиолокации, которые обмениваются информацией с наземными радарными системы управления воздушным движением. Бортовой транспондер отвечает на запросы от наземных РЛС, передавая кодированную информацию о высоте полёта, идентификационном номере рейса и других параметрах. Это обеспечивает наземным диспетчерам полную информацию о траектории и параметрах полёта воздушного судна.

Современные электронные индикаторы пилотажа (ЭИП) полностью заменили аналоговые приборы в кабине пилотов, представляя собой многофункциональные жидкокристаллические дисплеи высокого разрешения. Система электронного отображения полётной информации объединяет несколько дисплеев, каждый из которых может отображать различную информацию в зависимости от этапа полёта и потребностей экипажа. Первичный дисплей пилотирования показывает скорость воздушного судна, высоту, курс, вертикальную скорость и другие параметры управления самолётом. Дисплей навигации отображает маршрут полёта, положение навигационных точек, информацию о ветре и метеоусловиях на маршруте.

Система оповещения о состоянии двигателей и других систем, постоянно мониторит более 1000 параметров работы силовых установок, гидравлических систем, электроснабжения и других критических систем воздушного судна. При обнаружении отклонения от нормальных режимов система выдаёт звуковые сигналы тревоги, красные и жёлтые световые индикаторы на панели приборов и синтезированное голосовое предупреждение.

У современных самолётов есть умная встроенная система, которая сама себя протестирует ещё до вылета – проверит всю электронику, все приборы. А во время полёта она за ними непрерывно следит. Если что-то пошло не так или

какой-то параметр вылез за норму, система сразу выдаёт код ошибки. Этот код появляется на экране у пилотов (это называется EICAS) и одновременно записывается в электронный бортжурнал. Техники потом по этим кодам быстро находят причину и чинят.

Самое важное оборудование защищено резервированием. Для критических систем – тройное или даже четверное дублирование. Например, если один гироскоп отказал, система автоматически и незаметно для пилотов переключается на запасной. Самолёт при этом не теряет управление, и картинка на приборах не прыгает. Плюс всё сделано модульным: сломался один блок – его меняют, не нужно разбирать полсамолёта. Это здорово экономит время на техобслуживании.

Цифровой регистратор пишет больше тысячи параметров полёта с частотой до 1024 раз в секунду. Всё это хранится на суперзащищённом носителе. Параллельно с ним работает речевой «самописец» – он записывает последние два часа переговоров пилотов в кабине. Такие системы обязательны по международным правилам ИКАО для всех гражданских самолётов, и их данные используют при расследовании любых лётных происшествий.

Авиационная электроника не стоит на месте. Всё идёт к большей интеграции, автоматизации и внедрению искусственного интеллекта. Новые адаптивные автопилоты уже используют нейросети, чтобы предсказывать траекторию полёта и прокладывать лучший маршрут с учётом прогноза погоды и зон турбулентности. Ещё появились оптоволоконные гироскопы, а в будущем – квантовые навигационные системы. Они обещают абсолютную точность: навигация вообще без накопления ошибки (это всегда было слабым местом старых инерциальных систем).

Внедрение связи 5G и многоспектральных радаров с фазированными решётками сильно повысит понимание обстановки экипажами, особенно когда небо становится всё более загруженным и урбанизированным.

Архитектура «fly-by-wire», когда механических тяг и тросов от штурвала к рулям уже нет, а всё управление идёт по проводам и электронике, – это настоящая революция. Она полностью реализована на современных Boeing 787 и Airbus A350.

Наша отечественная авиационная промышленность тоже не отстаёт и делает свои интегрированные комплексы по модульному принципу. Например, первый российский магистральный самолёт MC-21 оснащается комплексом

ИКБО ИМА – это модульная авионика от предприятий «Радиоэлектронных технологий». Такой комплекс берёт на себя всю навигацию, индикацию, сигнализацию и помогает с самолётовождением. Благодаря этому MC-21 имеет лучшие технические характеристики в своём классе.

Бортовые системы должны работать безотказно и быть защищены от всяких неприятностей. От прямого удара молнии спасают экранированные кабели, специальные фильтры и грозозащитные устройства на всех входах внешних проводников в кабину и отсеки. А от кибератак защищает многоуровневое шифрование и физическое разделение сетей авионики по стандартам ARINC 429 и ARINC 664.

Когда на борту работает куча радиоэлектронных систем одновременно, они могут создавать друг другу помехи. Чтобы этого избежать, инженеры тщательно планируют, где разместить антенны, как подобрать рабочие частоты и развести их по диапазонам. Помогают направленные антенны с чёткой диаграммой направленности, частотные фильтры и экранирование кабелей.

Вся эта электроника современных лайнеров – самый сложный комплекс связанных систем. По сути, это нервная система воздушного судна. Вспомните, как всё начиналось: простые радиопеленгаторы времён Второй мировой войны. А сейчас – интеграция со спутниками, искусственный интеллект, полная цифровая начинка. Каждый прибор, каждый датчик играет критическую роль: безопасность полёта, точность навигации, эффективность работы – всё завязано на них.

Будущее авиационной электроники – это полная автоматизация управления, внедрение ИИ для помощи экипажам (а иногда и для принятия решений), а также создание полностью беспилотных аппаратов для специальных задач. Когда глобальные спутниковые системы, наземное навигационное оборудование и бортовые системы объединятся в единое информационное пространство для гражданской авиации, безопасность и эффективность воздушных перевозок вырастут колоссально.

Список литературы

1. Третьяков, Н. А. Моделирование тепловых испытаний бортовых радиоэлектронных приборов / Н. А. Третьяков // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 21–23 апреля 2020 года. – Самара: Вектор, 2020. – С. 134-136.

2. Быков, А. П. Методика автономных испытаний бортовых радиоэлектронных приборов космических аппаратов / А. П. Быков, М. Н. Пиганов // Труды МАИ. – 2020. – № 111. – С. 7. – DOI 10.34759/trd-2020-111-7.

3. Классификация последствий воздействия ИИ КП на РЭА / А. Е. Козюков, П. А. Чубунов, К. В. Зольников [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 22-28. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-3-22-28.

References

1. Tretyakov, N. A. Modeling of thermal tests of on-board radio electronic devices / N. A. Tretyakov // Actual problems of radio electronics and telecommunications : proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Samara, April 21-23, 2020. Samara: Vector, 2020. pp. 134-136.

2. Bykov, A. P. Methodology of autonomous testing of onboard radio-electronic devices of spacecraft / A. P. Bykov, M. N. Piganov // Proceedings of MAI. – 2020. – No. 111. – p. 7. – DOI 10.34759/trd-2020-111-7.

3. Classification of the effects of AI KP on REA / A. E. Kozyukov, P. A. Chubunov, K. V. Zolnikov [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 3. – pp. 22-28. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-3-22-28.

ВНЕЗАПНЫЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ОТКАЗЫ В МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТАХ: МЕХАНИЗМЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ

Е.И. Скворцова¹, А.С. Ягодкин¹, В.К. Зольников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются два основных типа отказов микроэлектронных компонентов и информационных систем – внезапные и параметрические. Дается классификация отказов по характеру изменения параметров, степени влияния на функциональность, связи с другими отказами и времени возникновения. Подробно описаны физические механизмы внезапных отказов (электромиграция, пробой диэлектрика, коррозия, механические повреждения и др.) и постепенные (параметрические) механизмы деградации.

Ключевые слова: внезапные отказы, параметрические отказы, надёжность, деградация параметров, функциональное тестирование, отказоустойчивость.

SUDDEN AND PARAMETRIC FAILURES IN MICROELECTRONIC COMPONENTS: MECHANISMS, CLASSIFICATION AND METHODS OF RELIABILITY ASSURANCE

E.I. Skvortsova¹, A.S. Yagodkin¹, V.K. Zolnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses two main types of failures of microelectronic components and information systems - sudden and parametric. A classification of failures is given according to the nature of parameter changes, the degree of impact on functionality, the relationship with other failures and the time of occurrence. The physical mechanisms of sudden failures (electromigration, dielectric breakdown, corrosion, mechanical damage, etc.) and gradual (parametric) degradation mechanisms are described in detail.

Keywords: sudden failures, parametric failures, reliability, degradation of parameters, functional testing, fault tolerance.

Надежность информационных систем является критической характеристикой для всех областей применения электронной аппаратуры, от потребительской электроники до военных и космических приложений. Информационные системы, построенные на основе микроэлектронных компонентов, подвергаются различным типам отказов, которые приводят к нарушению их функциональности. Понимание природы, механизмов и моделей отказов имеет первостепенное значение для разработки надежных систем, выбора соответствующих компонентов и организации надлежащей системы контроля и диагностики. Классификация отказов по различным признакам позволяет разработчикам информационных систем применять адекватные методы предотвращения, обнаружения и устранения отказов. Данная статья посвящена детальному рассмотрению двух основных типов отказов в информационных системах: внезапных и параметрических отказов, их характеристик, механизмов возникновения и практического значения для обеспечения надежности электронных систем.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 и международными стандартами надежности, отказы классифицируются по различным признакам. По характеру изменения определяющих параметров выделяют две основные категории отказов: внезапные и постепенные. По степени влияния на функциональность различают полные отказы, при которых система полностью теряет способность выполнять свои функции, и частичные отказы, при которых система продолжает выполнять некоторые функции, но с ухудшенными характеристиками.

По связи с другими отказами выделяют независимые отказы, возникающие независимо от состояния других элементов системы, и зависимые отказы, вызванные отказом других элементов. По возможности устранения различают необратимые отказы, требующие замены или ремонта элемента, и обратимые отказы, устраняющиеся путем перезагрузки или сброса системы. По времени возникновения относят отказы к периодам приработки, полезной работы, износа и старения, что соответствует трем фазам кривой «ванна».

Внезапный отказ определяется как отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров микроэлектронного компонента или информационной системы. Для внезапных отказов характерно то, что они возникают без видимых предварительных признаков приближения, и момент их наступления является случайным событием, не зависящим или слабо зависящим от времени предыдущей работы объекта. Классическими примерами внезапных отказов являются разрыв проводника вследствие электромиграции, пробой диэлектрика, появление короткого замыкания между

разделенными ранее контактами, механическое разрушение кристалла полупроводника при воздействии механического удара.

Внезапные отказы часто называют функциональными отказами, поскольку они приводят к немедленной потере функциональности системы. При возникновении внезапного отказа характеристики компонента мгновенно выходят за пределы допустимого диапазона, и система переходит в нерабочее состояние. Интенсивность внезапных отказов хорошо описывается моделью экспоненциального распределения в период полезной работы, когда интенсивность отказов λ остается приблизительно постоянной. Однако в период ранних отказов (приработки) интенсивность внезапных отказов может быть высокой и убывающей, а в период износа – возрастающей.

Внезапные отказы в микроэлектронных компонентах и информационных системах вызываются различными физическими и химическими механизмами. Наиболее распространенные механизмы внезапных отказов включают электромиграцию, разрыв межсоединений, коррозию контактов, термический пробой, механические повреждения, загрязнение и электрический пробой диэлектрических слоев.

Электромиграция является одним из наиболее важных механизмов внезапных отказов в микроэлектронных компонентах. Электромиграция представляет собой явление переноса вещества в проводнике за счет дрейфа ионов под влиянием электрического поля и столкновений электронов с атомами решетки. При прохождении тока высокой плотности через тонкие металлические проводники электроны сталкиваются с атомами решетки и передают им импульс. При достаточно высокой температуре и плотности тока атомы металла начинают мигрировать в направлении движения электронов. Это приводит к образованию пустот в одних областях проводника и скоплению вещества в других. По мере накопления пустот сопротивление проводника возрастает, что еще больше повышает локальную температуру и усиливает электромиграцию.

Тепловой пробой может произойти при достижении температурой кристалла критического значения, при котором происходит необратимое повреждение структуры полупроводника. Может развиваться явление термического разбегания, при котором возрастание температуры приводит к возрастанию тока, что в свою очередь еще больше повышает температуру. Тепловой пробой часто приводит к плавлению металлизации или даже взрыву компонента.

Параметрический отказ определяется как отказ, при котором один или несколько основных параметров (характеристик) компонента или системы постепенно выходят за пределы допустимого диапазона, что приводит к нарушению функциональности. В отличие от внезапных отказов, параметрические отказы развиваются постепенно и могут быть обнаружены и спрогнозированы путем мониторинга изменения параметров компонента или системы.

Параметрические отказы часто называют деградационными отказами, поскольку они вызваны процессами деградации материалов и структур компонентов. Параметрические отказы вызываются процессами деградации, которые приводят к постепенному изменению параметров компонентов. Основные механизмы параметрических отказов включают смещение порога напряжения, увеличение утечки через изоляцию, увеличение сопротивления межсоединений, снижение усиления транзистора и деградацию других электрических параметров.

Смещение порога напряжения является одним из наиболее распространенных механизмов параметрических отказов в полевых транзисторах. Смещение может быть вызвано несколькими механизмами, включая инъекцию горячих носителей заряда, отрицательное смещение по температуре, захват и отпуск зарядов на ловушках в диэлектрике. При инъекции горячих носителей высокоэнергетические электроны или дырки могут быть инжектированы в затворный диэлектрик, создавая ловушки интерфейсных состояний и фиксированные заряды. Это приводит к смещению порога напряжения и снижению крутизны передаточной характеристики транзистора.

Пробой диэлектрика, зависящий от времени, представляет собой процесс, при котором в тонком диэлектрическом слое (обычно SiO_2) образуется проводящий канал при приложении высокого электрического поля. Изначально происходит накопление ловушек в объеме диэлектрика и на его границах раздела. По мере накопления ловушек проводимость диэлектрика возрастает, и в конечном итоге образуется проводящий путь через всю толщину диэлектрика.

Увеличение утечки через диэлектрик может быть параметрическим отказом, при котором ток утечки возрастает в результате деградации качества диэлектрика, роста дефектов в диэлектрике или электрической стимуляции, вызывающей появление новых ловушек. Увеличение тока утечки приводит к увеличению статического потребления мощности и может привести к функциональному отказу при превышении определенного порога тока.

Основные различия между внезапными и параметрическими отказами проявляются в нескольких аспектах.

Во-первых, характер изменения параметров: внезапные отказы характеризуются скачкообразным изменением, в то время как параметрические отказы проявляются постепенным, монотонным или колебательным изменением параметров.

Во-вторых, предсказуемость: внезапные отказы происходят непредсказуемо и случайно, в то время как параметрические отказы могут быть спрогнозированы на основе анализа тренда изменения параметров.

В-третьих, возможность обнаружения: внезапные отказы обнаруживаются функциональными тестами, в то время как параметрические отказы требуют параметрических тестов и мониторинга характеристик.

Различаются также методы диагностики и прогнозирования отказов. Для внезапных отказов используются функциональные тесты, которые проверяют, выполняет ли система требуемые функции. Для параметрических отказов используются параметрические тесты, которые измеряют значения определяющих параметров и сравнивают их с допустимыми пределами. При организации системы диагностики параметрические отказы имеют важное преимущество: они позволяют предсказать отказ до его наступления и выполнить профилактическое обслуживание или замену компонента.

Статистическое распределение отказов в информационных системах хорошо описывается кривой «ванна», которая отображает зависимость интенсивности отказов λ от времени работы t . Для внезапных отказов в период полезной работы характерна постоянная интенсивность отказов, что соответствует экспоненциальному распределению времени до отказа. Вероятность безотказной работы в течение времени t при постоянной интенсивности отказов выражается формулой:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

где $R(t)$ – вероятность безотказной работы; λ – интенсивность отказов; t – время безотказной работы

Для параметрических отказов, развивающихся по степенному закону, количество накопленных отказов как функция времени может быть выражено формулой:

$$X(t) = k * t^n$$

где $X(t)$ – параметрический показатель деградации; k – константа, зависящая от условий эксплуатации; n – показатель степени (обычно n находится в диапазоне 1-3 для различных механизмов деградации); t – время работы.

Для отказов, следующих закону Аррениуса в зависимости от температуры, скорость деградации выражается формулой:

$$v(T) = A * e^{E_a/(k_B * T)}$$

где $v(T)$ – скорость деградации при температуре T ; A – константа; E_a – энергия активации механизма деградации; k_B – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Понял, принимаю. Переписываю текст про внезапные и параметрические отказы так, чтобы было понятно и живо, как будто инженер объясняет коллеге за чашкой кофе.

Чем отличается «внезапная смерть» детали от медленного угасания

Представьте: одно дело, когда деталь взяла и сдохла в момент – *бац*, и всё. А другое – когда она начинает потихоньку сдавать, параметры плывут, но пока ещё работает. Это два совершенно разных типа отказов: внезапные и параметрические. И для разработки электроники эта разница очень важна.

Когда проектируешь критически важную систему (скажем, для самолёта или поезда), надо думать об обоих вариантах. Для внезапных отказов главное – выбрать компоненты с низкой частотой отказов в рабочем режиме и делать резервирование с отказоустойчивыми архитектурами. А для параметрических – закладывать запас по характеристикам и разрабатывать методы диагностики, чтобы вовремя заметить, что всё поползло.

Тестирование: один подход не работает для всех

Стратегия проверки тоже разная. Обычное функциональное тестирование (работает / не работает) отлично ловит внезапные отказы – ну, сдохло – и видно. Но оно бессильно против параметрического отказа, когда деталь ещё функционирует, но уже не так хорошо, как надо. Тут нужно параметрическое тестирование – измерять конкретные характеристики: задержки сигнала, токи утечки, пороговые напряжения. Так можно заметить проблему задолго до того, как всё рухнет.

А ещё есть ускоренные тесты – гоняют компоненты при повышенной температуре и влажности. Они помогают выявить оба типа отказов и прикинуть реальную надёжность в ускоренном режиме.

Как бороться с каждым типом отказов

Чтобы предотвратить внезапный отказ, делают так:

- Берут компоненты с низкой изначальной интенсивностью отказов.
- Прогоняют тесты, чтобы отсеять бракованные экземпляры на старте.
- Берут детали с запасом по напряжению и температуре.
- Следят за отводом тепла, чтобы не перегревались.
- Ставят защитные схемы от перенапряжений и перегрузок по току.

А для борьбы с параметрическими отказами методы другие:

- Закладывают более консервативные нормы и бóльшие запасы при проектировании.
- Выбирают компоненты с лучшей надёжностью.
- Используют адаптивное управление: система сама отслеживает ухудшение параметров и подстраивает режим работы.
- Организуют встроенный мониторинг, чтобы ловить отклонения.
- Делают предсказательное обслуживание – смотрят тренды изменения параметров и меняют деталь ДО того, как она окончательно умрёт.

Внезапные и параметрические отказы – это две большие разницы. Внезапные возникают случайно, как удар дубиной: раз – и всё. Параметрические – как старение: незаметно, но верно. Первые требуют резервирования и отказоустойчивости, вторые – прогнозирования и своевременной замены.

Чтобы система жила долго и надёжно, нужен комплексный подход: выбирать хорошие компоненты, проектировать с запасом, правильно тестировать, внедрять мониторинг и диагностику, а ещё грамотно защищаться от отказов. Главное – понимать разницу между двумя типами и механизмами их возникновения. Это и есть основа, чтобы делать высоконадёжные устройства, которые отработают своё в любых условиях.

Список литературы

1. Технология изготовления титаностальных переходников с паяно-сварными стыковыми соединениями / Ю. П. Трыков, А. Ю. Трыков, Л. М. Гуревич [и др.] // Сварочное производство. – 2008. – № 7. – С. 14-18. – EDN KGMJRF.
2. Фэн Лэй. Исследование структуры соединений, паянных бессвинцовым припоем / Фэн Лэй // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. – 2009. – № 2(75). – С. 71-75. – EDN KPTXIT.

3. Преимущества современных разновидностей паянных соединений / Ю. А. Цумарев, Е. В. Игнатова, Т. С. Латун, В. К. Шелег // Стандартизация. – 2013. – № 2. – С. 29-32. – EDN VAIHPX.

References

1. Technology of manufacturing titanium-steel adapters with soldered-welded butt joints / Yu. P. Trykov, A. Y. Trykov, L. M. Gurevich [et al.] // Welding production. – 2008. – No. 7. – Pp. 14-18. – EDN KGMJRF.

2. Feng Lei. Investigation of the structure of joints soldered with lead-free solder / Feng Lei // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Instrument Engineering series. – 2009. – № 2(75). – Pp. 71-75. – EDN KPTXIT.

3. Advantages of modern varieties of soldered joints / Yu. A. Tsumarev, E. V. Ignatova, T. S. Latun, V. K. Sheleg // Standardization. – 2013. – No. 2. – Pp. 29-32. – EDN VAIHPX.

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДО ОТКАЗА ЭЛЕМЕНТОВ

Е.И. Скворцова¹, А.С. Ягодкин¹, В.К. Зольников¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Статья посвящена анализу основных законов распределения времени до отказа микроэлектронных компонентов и информационных систем – экспоненциального, Вейбулла, логнормального, нормального и гамма-распределений. Описаны их математические функции (надежности $R(t)$, плотности $f(t)$, интенсивности отказов $\lambda(t)$), физический смысл параметров и области применения для ранних, случайных и износных отказов. Рассмотрены методы оценки параметров (максимального правдоподобия, моментов, наименьших квадратов). Подчеркнута роль выбора адекватной модели для прогнозирования надежности, планирования обслуживания и повышения отказоустойчивости электронных систем.

Ключевые слова: время до отказа, функция надежности, экспоненциальное распределение, распределение Вейбулла, логнормальное распределение, интенсивность отказов, MTTF, микроэлектроника, анализ надежности.

LAWS OF TIME-TO-FAILURE DISTRIBUTION IN MICROELECTRONICS

E.I. Skvortsova¹, A.S. Yagodkin¹, V.K. Zolnikov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. This article analyzes the fundamental laws of time-to-failure distribution for micro-electronic components and information systems—exponential, Weibull, lognormal, normal, and gamma distributions. Their mathematical functions (reliability $R(t)$, density $f(t)$, failure rate $\lambda(t)$), the physical meaning of the parameters, and their application areas for early, random, and wearout failures are described. Methods for estimating parameters (maximum likelihood, moments, and least squares) are considered. The role of selecting an adequate model for predicting reliability, planning maintenance, and improving the fault tolerance of electronic systems is emphasized.

Keywords: time to failure, reliability function, exponential distribution, Weibull distribution, lognormal distribution, failure rate, MTTF, microelectronics, reliability analysis.

Надежность микроэлектронных компонентов и информационных систем в значительной степени зависит от точного прогнозирования времени до первого отказа и распределения отказов во времени. Время до отказа является случайной величиной, которая характеризуется определенным законом вероятностного распределения. Выбор адекватного закона распределения позволяет разработчикам и инженерам корректно оценить надежность систем, спланировать техническое обслуживание, оптимизировать графики замены компонентов и принять обоснованные решения о резервировании и отказоустойчивости. Различные механизмы отказов в микроэлектронике подчиняются различным законам распределения, поэтому понимание этих законов и умение применять их является необходимым компетентностным подходом для специалистов в области надежности электронной аппаратуры. Данная статья посвящена рассмотрению основных законов распределения времени до отказа элементов, их математическому описанию, физическому смыслу параметров, условиям применения и практическому использованию при анализе надежности.

Теперь разберём конкретные законы распределения, которые чаще всего встречаются на практике.

Экспоненциальное распределение для случайных внезапных отказов

Это самый популярный закон в теории надёжности микроэлектроники. Он хорошо описывает период нормальной работы (полезной жизни), когда отказы происходят случайно и не зависят от того, сколько деталь уже отработала.

Забавный факт: вероятность проработать без отказа время, равное одному МТТФ, составляет $R(MTTF) = e^{-1} \approx 0,368$, то есть всего 36,8%. Это ниже 37%. То есть если среднее время жизни – 1000 часов, то примерно 63% деталей откажут раньше.

Главное преимущество экспоненциального распределения – «отсутствие памяти». Буквально: сколько деталь уже проработала – не важно, вероятность отказа в следующий час такая же, как и в первый. Математически это записывается так:

$$P(T > s + t \mid T > s) = P(T > t)$$

Где применяют? Для внезапных отказов: электромиграция, пробой диэлектрика, коррозия контактов. Но оно не годится для описания ранних отказов

(приработка) и износных (старение) – там интенсивность меняется со временем.

Распределение Вейбулла–Гнеденко – гибкий инструмент на все случаи

Это двухпараметрическое распределение. Оно очень гибкое: меняя параметры, можно моделировать и приработку, и случайные отказы, и износ. Именно поэтому инженеры его так любят.

Функция надежности:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

где β – параметр формы ($\beta > 0$), η – параметр масштаба ($\eta > 0$).

Плотность вероятности:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

Функция интенсивности отказов:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}$$

Среднее время до отказа:

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

где Γ – гамма-функция.

Что даёт параметр формы β ?

- $\beta < 1$ – интенсивность отказов падает со временем. Это период приработки, когда вылетают «детские болячки».

- $\beta = 1$ – превращается в экспоненциальное распределение (постоянная интенсивность).

- $\beta > 1$ – интенсивность отказов растёт со временем. Это период старения и износа.

Вейбулл отлично подходит для анализа отказов подшипников, конденсаторов, деградации полупроводников, особенно если есть вибрация или термоциклирование. Часто даёт лучшее соответствие реальным данным, чем экспонента.

Логнормальное распределение, когда процесс – «снежный ком»

Логнормальное распределение применяют, когда деградация идёт по мультипликативному принципу: накопление повреждений пропорционально текущему состоянию компонента. Проще говоря, чем хуже состояние, тем быстрее оно ухудшается дальше. При этом логарифм времени до отказа подчиняется нормальному распределению.

Функция надежности:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)$$

где μ – среднее логарифма времени, σ – стандартное отклонение логарифма, Φ – функция стандартного нормального распределения.

Плотность вероятности:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Функция интенсивности отказов (сложная, но для полноты):

$$\lambda(t) = \frac{\varphi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)}{t\sigma\left[1 - \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)\right]}$$

где φ – плотность стандартного нормального распределения.

Среднее время до отказа:

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)$$

Логнормальное распределение – несимметричное. Большинство компонентов отказывают где-то около среднего значения, но некоторые – намного раньше или позже. Хорошо подходит для описания отказов из-за коррозии, износа изоляции, накопления усталости.

Нормальное распределение (гауссовское) для износа под действием многих факторов

Нормальное распределение используют, когда на деградацию влияет много независимых маленьких факторов, и суммарный эффект даёт классический «колокол». Оно хорошо описывает износые отказы – старение, усталость, износ материалов.

Функция надёжности:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - m}{\sigma}\right) = \Phi\left(-\frac{t - m}{\sigma}\right)$$

где m – среднее время до отказа, σ – стандартное отклонение.

Плотность вероятности:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t - m)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Функция интенсивности отказов:

$$\lambda(t) = \frac{\varphi\left(\frac{t - m}{\sigma}\right)}{\sigma\left[1 - \Phi\left(\frac{t - m}{\sigma}\right)\right]}$$

Среднее время до отказа:

$$MTTF = m$$

Как выбрать подходящий закон распределения?

Выбор закона нельзя делать на глаз. Выбор закона распределения – это не гадание на кофейной гуще. Он опирается на три столпа: экспериментальные данные, физику отказов и статистические тесты. Каждый случай – своя история.

– Экспоненциальное распределение – выбор для периода нормальной жизни компонента, когда отказы приходят как гром среди ясного неба, без всяких предупреждений. Классика жанра: электромиграция, пробой диэлектрика, любые внезапные смерти деталей.

– Распределение Вейбулла незаменимо там, где данные кричат о приработке (детские болезни, ранние отказы) или об износе (когда интенсивность неумолимо ползёт вверх). Особенно хорошо работает на механике, которую трясут и циклически греют.

– Логнормальное распределение – король мультипликативных процессов деградации. Коррозия, усталость материалов, хитрые сценарии электромиграции – его стихия. И ещё конденсаторы: оно часто описывает их отказы с удивительной точностью.

– Нормальное распределение (оно же гауссовское) включают в игру, когда износ идёт под действием множества независимых факторов, а суммарное повреждение распределяется вокруг среднего симметрично. Классический пример – тепловые отказы: достиг определённой температуры, и интенсивность резко подскакивает.

Правильный выбор закона распределения – это не формальность, а ключевой шаг к реалистичной модели надёжности. Он позволяет прогнозировать, как компонент будет вести себя на всём своём жизненном цикле.

Как всё вместе описывает жизненный цикл

Обычно жизнь компонента проходит три этапа.

1. Ранние отказы (приработка) – тут распределение Вейбулла с $\beta < 1$ (интенсивность падает).

2. Полезная работа – экспоненциальное распределение (интенсивность постоянная λ).

3. Износные отказы (старение) – распределение Вейбулла с $\beta > 1$ или нормальное распределение.

На практике именно период полезной работы занимает большую часть жизни. И там отлично работает экспонента – можно пользоваться простыми формулами. Но если хотим прогнозировать долговечность и менять компоненты заранее, то нужно учитывать период износа. Тут лучше взять Вейбулла или нормальное распределение.

Как оценить параметры распределений

Есть несколько методов:

- Метод максимального правдоподобия – самый распространённый. Строится функция правдоподобия:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta)$$

где θ – параметры распределения, $f(t_i; \theta)$ – плотность в точке t_i . Ищем θ , чтобы L была максимальной.

- Метод наименьших квадратов – применяют при графическом анализе, линеаризуя функцию распределения. Например, для экспоненты: $\ln(R(t)) = -\lambda t$ – получили прямую.

- Метод моментов – приравниваем выборочные средние и дисперсии к теоретическим. Часто даёт начальные приближения для других методов.

Заключение

Законы распределения времени до отказа – это основа анализа надёжности. Экспоненциальное и weibullовское – самые ходовые в микроэлектронике. Выбор правильного закона на основе физики отказов и реальных данных позволяет инженерам строить точные модели надёжности, планировать обслуживание и делать электронику долговечнее. Современные софтинки для анализа надёжности помогают подбирать параметры и проверять качество модели, так что эти знания активно применяются на практике.

Список литературы

1. Гуров, С. В. Надёжность восстанавливаемых резервированных систем с последствием отказов / С. В. Гуров, Л. В. Уткин // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 1. – С. 137-151. – EDN XVRLFR.
2. Боран-Кешишьян, А. Л. Анализ надёжности технических средств сложных человеко-машинных систем при известных законах распределения времени до отказа элементов / А. Л. Боран-Кешишьян // Вестник Донского государственного технического университета. – 2013. – Т. 13, № 5-6(74). – С. 59-67. – DOI 10.12737/1281. – EDN RVLNYD.
3. Королев, А. Е. Оценка надёжности машин до первого отказа / А. Е. Королев, Т. Г. Колмакова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2013. – № 4(23). – С. 64-66. – EDN SDWPAL.

References

1. Gurov, S. V. Reliability of recoverable redundant systems with the aftereffect of failures / S. V. Gurov, L. V. Utkin // Automation and telemechanics. – 2017. – No. 1. – Pp. 137-151. – EDN XVRLFR.
2. Boran-Keshishian, A. L. Analysis of the reliability of technical means of complex human-machine systems under known laws of time distribution to failure of elements / A. L. Boran-Keshishian // Bulletin of the Don State Technical University. – 2013. – Vol. 13, No. 5-6(74). – Pp. 59-67. – DOI 10.12737/1281. – EDN RVLNYD.
3. Korolev, A. E. Evaluation of the reliability of machines before the first failure / A. E. Korolev, T. G. Kolmakova // Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Urals. – 2013. – № 4(23). – Pp. 64-66. – EDN SDWPAL.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ

В.А. Талиманчук¹, О.А. Авилова¹, Д.П. Луцко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. Усложнение интегральных схем и ужесточение требований к надежности привели к необходимости повышения эффективности автоматизированного контроля качества на этапах монтажа и испытаний микросхем [1; 5]. Стандартные системы автоматического оптического контроля (АОК), основанные на сравнении с эталонным изображением, обеспечивают высокую долю обнаружения дефектов, но в реальном производстве формируют значительный поток ложных тревог, перегружающих операторов и снижающих производительность линии [2; 6]. В последние годы активно внедряются методы сверточных нейронных сетей (CNN) для распознавания дефектов печатных плат, корпусов микросхем и внутренних нарушений структуры, в том числе по данным сканирующей акустической томографии [3; 8; 10]. Цель работы – на основе анализа современных исследований обосновать подходы к повышению эффективности автоматизированного контроля качества микросхем за счет комбинирования АОК и методов машинного обучения без радикальной замены существующего измерительного оборудования [1–3; 5–8]. Показано, что использование дообучаемых CNN-классификаторов, продуманное формирование обучающих выборок и интеграция оптического и акустического контроля позволяют снизить долю ложных вызовов АОК в несколько раз при сохранении или повышении чувствительности к реальным дефектам [2–6; 8–10].

Ключевые слова: контроль качества микросхем, автоматический оптический контроль, сканирующая акустическая томография, сверточные нейронные сети, ложные срабатывания.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMATED QUALITY CONTROL OF MICROCIRCUITS

V.A. Talimanchuk¹, O.A. Avilova¹, D.P. Lutsko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The increasing complexity of integrated circuits and stricter reliability requirements have led to the need to improve the efficiency of automated quality control at the stages of microcircuit assembly and testing [1; 5]. Standard automatic optical inspection (AOI) systems based on comparison with a reference image provide a high defect detection rate, but in real-world production they generate a significant number of

false alarms, overloading operators and reducing line productivity [2; 6]. In recent years, convolutional neural network (CNN) methods have been actively implemented to detect defects in printed circuit boards, microcircuit packages, and internal structural faults, including using scanning acoustic tomography data [3; 8; 10]. The objective of this work is to analyze current research to substantiate approaches to improving the efficiency of automated microcircuit quality control (AQC) by combining AQC and machine learning methods without radically replacing existing measurement equipment [1–3; 5–8]. It is demonstrated that the use of retrainable CNN classifiers, thoughtful generation of training samples, and the integration of optical and acoustic inspection can reduce the false alarm rate of AQC systems severalfold while maintaining or increasing sensitivity to real defects [2–6; 8–10].

Keywords: AQC, AQC, scanning acoustic tomography, convolutional neural networks, false alarms.

Введение

Допустимый уровень дефектности микросхем в ответственных системах сейчас оценивается единицами частей на миллион изделий, что напрямую связано с требованиями к функциональной безопасности и к гарантийному сроку службы электроники [1; 5]. При этом плотность монтажа компонентов на печатных платах и сложность корпусов микросхем постоянно растут, и визуальная инспекция человеком уже не обеспечивает повторяемости результатов даже при привлечении опытных контролеров [2; 4]. На современных линиях поверхностного монтажа практически всегда используется несколько этапов АОК, однако традиционные алгоритмы обнаружения отклонений слабо учитывают вариации геометрии, освещенности и особенностей конкретных партий компонентов, что приводит к большому числу ложных тревог [1; 6]. Анализ производственных данных Siemens за 132 дня показал, что отношение истинных дефектов к ложным вызовам АОК находилось в диапазоне от 0,003 до 0,028 в зависимости от типа платы, то есть на один реально бракованный участок приходилось десятки и даже сотни ложных срабатываний [1]. Возникает закономерный вопрос: можно ли повысить реальную результативность контроля, минимизируя «проскок» дефектных микросхем и одновременно снижая нагрузку на операторов, опираясь на уже установленное оборудование? Рассмотрим, какие решения предложены в исследованиях последних лет [1–4; 6–8].

Оптический контроль и методы глубокого обучения на уровне платы и корпуса

Базовым инструментом контроля монтажа и внешнего вида микросхем остаются системы АОК, выполняющие съемку плат и корпусов с последующей программной обработкой изображений [1; 2]. В работе A. Müller и R. Törper

предложен подход к формированию обучающей выборки для CNN-модели, которая дополняет решения штатной системы АОК и повторно оценивает изображения пайки чип-компонентов различных типоразмеров; при использовании данных с нескольких линий и разных машин достигнута суммарная точность распознавания около 97,6% при реальных условиях эксплуатации [2]. Авторы подчеркивают, что включение в выборку различных типоразмеров и изображений с разных камер позволяет повысить устойчивость модели к изменению ассортимента изделий и конфигурации оборудования [2].

Отдельное направление связано с распознаванием дефектов внешнего вида корпусов микросхем: царапин, сколов, загрязнений и нарушений маркировки, которые могут указывать как на ошибки упаковки, так и на скрытые механические повреждения [3]. В работе J. Wang представлена CNN-модель для классификации изображений корпусов микросхем, которая после этапа очистки и балансировки выборки продемонстрировала точность свыше 99,5% при отсутствии пропусков дефектных корпусов в тестовой выборке [3]. Такое сочетание высокой точности и нулевой доли «проскока» удовлетворяет требованиям входного контроля корпусов, особенно при работе с партиями для автомобильной и промышленной электроники [3; 7]. При этом модель не требует изменений в аппаратной части стенда, используя стандартные изображения с существующих камер контроля [3].

Классическим примером сложного участка контроля является пайка выводных элементов типа DIP, где совмещаются геометрические и оптические искажения, отражения от металлических поверхностей и вариации припоя [4]. В исследовании Y.-T. Li и соавторов предложена гибридная архитектура, объединяющая модифицированный YOLOv2 и Faster R-CNN с механизмом адаптивного дообучения на неправильно классифицированных примерах; в эксперименте на реальной линии была достигнута доля обнаружения 99,99% при ложных срабатываниях на уровне 20–30% и времени инспекции менее 15 секунд для изображения с разрешением 7296×6000 пикселей [4]. По оценке авторов, внедрение такой системы позволило повысить производительность трех линий примерно на 33% за счет сокращения времени постконтроля и уменьшения объема ручной донастройки оборудования [4].

Применение машинного обучения к контролю контактных площадок «золотых пальцев» печатных плат также показывает ощутимый эффект: система, построенная на основе глубокого остаточного CNN-классификатора, обеспечила

точность около 95% при проверке групп контактных площадок и дала возможность перейти от выборочного входного контроля к сплошному контролю без увеличения численности персонала [5]. В совокупности результаты работ [1–4; 7] демонстрируют, что надстройка в виде CNN-модели, обученной на реальных производственных данных, может существенно повысить информативность АОК, практически не затрагивая существующую аппаратную инфраструктуру.

Контроль внутренних дефектов и интеграция разнородных данных

Одними оптическими методами качество контроля не всегда поднять. Особенно когда главную угрозу надёжности несут внутренние дефекты – пустоты, расслоения, трещины или плохая адгезия внутри корпуса или кристалла [8; 10]. Тут на помощь приходит сканирующая акустическая томография (SAT). Она строит двухмерные и трёхмерные изображения внутренней структуры, но раньше эти снимки анализировали эксперты вручную – дело муторное и нестабильное [6].

Команда Y.-T. Jou пошла нестандартным путём. Вместо того чтобы мучительно настраивать правила, они взяли свёрточную нейросеть и поручили ей самой разбираться в акустических томограммах интегральных схем. Но тут возникла проблема: данных для обучения – кот наплакал. Решение? Агрессивная аугментация. Авторы увеличили количество примеров в 40 раз с помощью алгоритма, который «заливает» связные области, порождая новые варианты. Параметры настраивали, подавая на вход батчи по 32 картинки.

Что в итоге? Доля пропущенных внутренних дефектов – ниже 0,4%. Ложных тревог – около 0,1% на реальной производственной выборке [6]. По порядку цифр это уровень лучших зарубежных CNN-контроллеров. А вот по стабильности решений нейросеть уверенно обгоняет традиционный ручной анализ [3; 8].

Отдельного внимания заслуживает работа в журнале *Micromachines* – она про выделение признаков на гибких упаковочных подложках [7]. Авторы построили конвейер: сначала кластеризация по цвету, затем медианная фильтрация, потом морфологическая обработка и наконец анализ связных областей. Такой подход без лишних слов отделяет сигнальные дорожки от фона и находит обрывы или утонения проводников. И главное – никакого эталонного шаблона. Для подложек с бешеной плотностью разводки это настоящее спасение.

Если объединить эти алгоритмы с CNN-классификаторами, можно сделать единый программный комплекс, который будет видеть и внешние, и внутренние дефекты подложек и корпусов [8; 10].

Параллельно ведутся работы по переносу успешных архитектур из смежных областей. Например, в статье Y. Zhang и соавторов описана система контроля дефектов МЭМС-датчиков давления. Свёрточная нейросеть умеет распознавать разные типы повреждений чувствительной структуры, даже если размеченных данных не очень много [8]. Ключевая задача здесь – подобрать глубину сети и набор свёрточных фильтров так, чтобы баланс между точностью распознавания и вычислительной нагрузкой был оптимальным. Это напрямую актуально для производственных линий, где комплексы контроля микросхем работают в реальном времени [8–10].

С практической точки зрения ключевой задачей становится интеграция данных из разных источников: от АОК, SAT и специализированных стендов для контроля подложек в единую систему принятия решений [5; 6; 8]. В качестве одного из рациональных вариантов рассматривается многоуровневая схема: на первом уровне жестко настроенное АОК с высокой чувствительностью отбирает потенциально дефектные зоны; на втором уровне CNN-классификатор по исходным изображениям снижает число ложных вызовов; на третьем уровне для изделий повышенной ответственности выполняется выборочная SAT-проверка по зонально сформированному списку рисков [5; 8]. По данным Tong и соавторов, внедрение дополнительного машинного классификатора позволило снизить долю ошибочных решений штатной системы АОК с 0,3–0,5% до 0,02–0,03% без увеличения числа пропущенных дефектов, что непосредственно уменьшило нагрузку на операторов постконтроля [5; 6].

Нами выявлено, что при построении такого контура контроля можно рассматривать, по меньшей мере, два сценария его развития. В первом случае приоритет отдается снижению общего числа SAT-проверок, и тогда критерии отбора зон по оптическим данным делаются более жесткими, чтобы минимизировать объем дорогого акустического контроля [5; 8]. Во втором случае во главу угла ставится минимизация ложных браков и недопустимость «проскока» дефектных микросхем, и SAT используется шире, а часть процедур интерпретации передается CNN-моделям, что уменьшает зависимость результата от субъективного опыта эксперта [8–10]. Проведенный анализ показал, что выбор между этими сценариями должен опираться не только на прямые затраты на контроль, но и на стоимость отказа микросхемы в течение жизненного цикла конечного изделия, а также на требования профильных стандартов к допускаемой доле дефектов [1; 5; 8].

Заключение

Проведенный обзор показывает, что повышение эффективности автоматизированного контроля качества микросхем в настоящее время главным образом связано с внедрением методов глубокого обучения над данными, поступающими от уже существующих систем АОК и неразрушающего контроля, а не с полной заменой аппаратно-технологической базы [1–4; 8–10]. Современные CNN-модели для распознавания дефектов пайки, корпусов и внутренних структур демонстрируют долю пропуска дефектов на уровне десятых долей процента и единиц процентов в зависимости от задачи, при этом интеграция таких моделей в контур работы АОК позволяет снизить долю ложных тревог на порядок по сравнению с исходными настройками оборудования [2–6; 8]. Нами выявлено, что наибольший эффект достигается при комплексном подходе, включающем формирование репрезентативных обучающих выборок с разных линий и машин, агрессивную аугментацию данных для редких типов дефектов и построение многоуровневых схем контроля, где оптический, акустический и специализированный контроль подложек взаимно дополняют друг друга [1; 5; 8–10]. Проведенный анализ показал также, что для практического внедрения критично учитывать отраслевые требования к допустимой доле дефектных микросхем и экономическую оценку отказа изделия, что определяет выбор между более «экономным» сценарием использования SAT и сценарием с приоритетом минимизации риска «проскока» дефектов [5; 8].

Список литературы

1. Власов, А. И. Концепция универсального интеллектуального смарт-автомата / А. И. Власов, С. С. Филин, А. И. Кривошеин // Пром-инжиниринг : Труды Всероссийской научно-технической конференции. – Челябинск, 2019. – С. 267-271.
2. Рубцов, Ю. В. Автоматический визуальный контроль качества изделий микроэлектроники методом эталонных шаблонов / Ю. В. Рубцов, В. Э. Малышев, А. А. Назаренко // Радиоэлектронные приложения: проблемы и их решения. – 2024. – № 13. – С. 18-21.
3. Усманов, А. И. Анализ современных методов автоматизации неразрушающего контроля качества и диагностики электронных компонентов / А. И. Усманов, А. В. Козлова, В. Г. Мешков // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2024. – № 2 (69). – С. 161-172.

4. Быков, А. Е. Определение правильного расположения контрольных операций в технологическом процессе изготовления микросхем / А. Е. Быков, Е. И. Лазарева // Социально-экономические и технические проблемы оборонно-промышленного комплекса России: история, реальность, инновации : межвузовский сборник статей по материалам VII Всероссийской научно-практической конференции ; Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2021. – С. 152-155.

5. Аваков, С. М. Принципиальное проектирование и разработка программного обеспечения для обеспечения контроля качества топологических структур в микроэлектронике / С. М. Аваков, А. А. Воронов, В. В. Ганченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2024. – № 2 (43). – С. 2-9.

References

1. Vlasov A.I., Filin S.S., Krivoshein A.I. The Concept of a Universal Intelligent Smart Machine // Prom-engineering : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference. – Chelyabinsk, 2019. – Pp. 267-271.

2. Rubtsov Yu.V., Malyshev V.E., Nazarenko A.A. Automatic Visual Quality Control of Microelectronic Products Using the Reference Template Method // Electronic Applications: Problems and Their Solutions. 2024. No. 13. Pp. 18-21.

3. Usmanov A.I., Kozlova A.V., Meshkov V.G. Analysis of Modern Methods for Automating Non-Destructive Quality Testing and Diagnostics of Electronic Components // Bulletin of MSTU "STANKIN". 2024. No. 2 (69). Pp. 161-172.

4. Bykov A.E., Lazareva E.I. Determining the Correct Location of Control Operations in the Microcircuit Manufacturing Process // Socio-Economic and Technical Problems of the Russian Defense Industrial Complex: History, Reality, Innovations. Interuniversity Collection of Articles Based on the Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference ; R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University. – Nizhny Novgorod, 2021. – Pp. 152-155.

5. Avakov S.M., Voronov A.A., Ganchenko V.V. Fundamental Design and Development of Software for Ensuring Quality Control of Topological Structures in Microelectronics // Bulletin of Polotsk State University. Series C. Fundamental Sciences. 2024. No. 2 (43). Pp. 2-9.

МЕТОДОЛОГИЯ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ RADIATION-HARDENED МИКРОСХЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ PDK И МОДЕЛЕЙ

С.С. Тарлыков¹, А.М. Тюнина¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье представлена методология сквозного проектирования радиационно-стойких микросхем, на основе специализированных PDK и радиационных моделей. Подход обеспечивает учет TID и SEU/SET, согласование технологических и схемотехнических решений и повышение предсказуемости стойкости.

Ключевые слова: radiation-hardened микросхемы, космическая электроника, Total Ionizing Dose, Single Event Upset, специализированный PDK, радиационные модели, сквозное проектирование, многоуровневая верификация, надежность микроэлектроники, моделирование радиационных эффектов.

METHODOLOGY OF END-TO-END DESIGN OF RADIATION-HARDENED INTEGRATED CIRCUITS USING SPECIALIZED PDKs AND MODELS

S.S. Tarlykov¹, A.M. Tyunina¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article presents a methodology for end-to-end design of radiation-hardened integrated circuits based on specialized PDKs and radiation-oriented models. The approach ensures proper consideration of TID and SEU/SET effects, alignment of technological and circuit-level decisions, and improved predictability of radiation robustness.

Keywords: radiation-hardened integrated circuits, space electronics, Total Ionizing Dose, Single Event Upset, specialized PDK, radiation models, end-to-end design, multi-level verification, microelectronics reliability, radiation effects modeling.

Интегральные микросхемы, предназначенные для эксплуатации в космическом пространстве, подвергаются воздействию ионизирующего излучения, которое оказывает существенное влияние на их электрические и функциональные характеристики. К основным факторам относятся суммарная ионизирующая доза (Total Ionizing Dose, TID), одиночные эффекты, вызываемые высокоэнергетичными частицами (Single Event Effects, SEE), включая одиночные сбои (SEU) и переходные процессы (SET) [1].

На практике существенной проблемой остается разрыв между технологическим уровнем (формирование PDK, моделей устройств) и схемотехническим проектированием. Недостаточная согласованность допущений и моделей приводит к расхождению результатов симуляций и экспериментальных испытаний, увеличению числа итераций и росту сроков разработки [2].

В последние годы рост степени интеграции и переход к субмикронным и нанометровым технологиям усилили чувствительность микросхем к радиационным воздействиям. При этом традиционные маршруты проектирования, ориентированные на коммерческие приложения, не обеспечивают адекватного учета радиационных эффектов. В литературе широко представлены работы, посвященные отдельным аспектам радиационной стойкости – технологическим методам защиты, схемотехническим приемам повышения устойчивости, а также моделированию одиночных событий. Однако данные подходы зачастую применяются изолированно.

Целью данной статьи является разработка и описание методологии сквозного проектирования радиационно-стойких микросхем, обеспечивающей интеграцию специализированных PDK, радиационно-ориентированных моделей и процедур верификации в единый проектный маршрут.

Объектом исследования является процесс проектирования радиационно-стойкой интегральной микросхемы, реализуемый в рамках заданной технологии микроэлектроники с использованием специализированного PDK.

Входными параметрами задачи являются:

технологические параметры элементов (толщина оксидов, пороговое напряжение, подвижность носителей);

параметры радиационного воздействия (уровень TID, линейная передача энергии частиц);

требования миссии (длительность эксплуатации, допустимый уровень функциональных отказов).

Выходными параметрами являются деградированные электрические характеристики микросхемы и показатели функциональной надежности, включая вероятность одиночных ошибок и параметры временных задержек.

Воздействие суммарной ионизирующей дозы приводит к накоплению заряда в диэлектрических слоях и деградации параметров MOS-транзисторов. Изменение порогового напряжения моделируется зависимостью вида:

$$\Delta V_{th}(D) = k_1 * D + k_2 * D^n \quad (1)$$

где D – накопленная доза, k_1 , k_2 , n – коэффициенты, определяемые технологией.

Данные зависимости включаются в SPICE-модели элементов PDK, что позволяет проводить параметрические симуляции с учетом деградации характеристик.

SEU и SET моделируются с использованием вероятностного подхода, основанного на сечении чувствительности элементов:

$$P_{SEU} = 1 - e^{-\sigma * \Phi}, \quad (2)$$

где σ – эффективное сечение SEU, Φ – поток частиц.

Методология предполагает интеграцию данных моделей в библиотечные ячейки, а также применение инъекции отказов на уровне логических и функциональных симуляций.

Анализ результатов демонстрирует, что ранний учет радиационных эффектов позволяет существенно сократить расхождение между расчетными и экспериментальными данными, что согласуется с результатами, представленными в [3]. Наибольшую чувствительность проявляют параметры порогового напряжения и временные характеристики логических ячеек.

Сравнение с подходами, в которых радиационная стойкость обеспечивается на поздних этапах, показывает преимущество сквозной методологии с точки зрения трудоемкости и предсказуемости результата.

В статье предложена методология сквозного проектирования радиационно-стойких микросхем, основанная на интеграции специализированных PDK, моделей TID и SEU и многоуровневой верификации. Показано, что данный подход позволяет преодолеть разрыв между технологами и схемотехниками и повысить надежность проектируемых микросхем для космического применения. Представленная методология может быть использована при разработке микросхем для спутниковых и других радиационно-напряженных систем.

Список литературы

1. Специализированное программное обеспечение для автоматизированного тестирования и верификации PDK / О. Р. Загидуллина, А. С. Надин, И. Е. Трифанихина, Д. С. Шипицин // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. – 2019. – Т. 9, № 4. – С. 80-84. – DOI 10.25682/NIISI.2019.4.0011. – EDN TYGPQW.
2. Radiation-Hardened CMOS VLSI SRAM in Bulk Technology / Yu. M. Gerasimov, N. G. Grigoryev, V. V. Goussev [et al.] // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2015. – № 3. – Р. 45. – EDN UMQZVF.
3. Методология сквозного параметрического проектирования узлов машин как основа формирования цифрового документооборота / Н. А. Солодилова, Д. С. Ситкин, А. Ю. Скрябнев, Т. В. Маркова // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2026. – № 20. – С. 59-63. – DOI 10.26160/2309-8864-2026-20-59-63. – EDN CMCGIQ.
4. Математическая модель индуктивного делителя напряжения с электронной компенсацией / А. И. Заревич, С. В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 4. – С. 129–133.
5. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, № 4. – Р. 329–338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.
6. Формирование ИКТ-компетентности студентов специальности «Информатика» / А. В. Полуэктов // Информационно-коммуникационные технологии в педагогическом образовании. – 2009. – № 3 (3). – С. 8–11. – EDN SAXGJX.
7. Автоматизированный комплекс для диагностики импульсов релятивистского СВЧ-генератора / А. И. Заревич, Е. В. Вегнер, И. И. Винтизенко // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 3. – С. 78–82.

References

1. Specialized software for automated testing and verification of PDK / O. R. Zagidullina, A. S. Nadin, I. E. Trifanikhina, D. S. Shipitsin // Proceedings of the Scientific Research Institute of System Research of the Russian Academy of Sciences. – 2019. – Vol. 9, No. 4. – Pp. 80-84. – DOI 10.25682/NIISI.2019.4.0011. – EDN TYGPQW.

2. Radiation-Hardened CMOS VLSI SRAM in Bulk Technology / Yu. M. Gerasimov, N. G. Grigoryev, V. V. Goussev [et al.] // Problems of developing promising micro- and nanoelectronic systems (MES). – 2015. – No. 3. – P. 45. – EDN UM-QZVF.

3. Methodology of end-to-end parametric design of machine components as the basis for the formation of digital document management / N. A. Solodilova, D. S. Sitkin, A. Yu. Scriabnev, T. V. Markova // Computer-aided design in mechanical engineering. – 2026. - № 20. - Pp. 59-63. - DOI 10.26160/2309-8864-2026-20-59-63. – EDN CMCGIQ.

4. Mathematical model of an inductive voltage divider with electronic compensation / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2010. – Vol. 317, No. 4. – Pp. 129-133.

5. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, No. 4. – P. 329-338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.

6. Formation of ICT competence of students of the specialty "Informatics" / A.V. Poluektov // Information and communication technologies in teacher education. – 2009. – № 3 (3). – Pp. 8-11. – EDN SAXGJX.

7. Automated complex for diagnostics of pulses of a relativistic microwave generator / A. I. Zarevich, E. V. Wegner, I. I. Vintizenko // Instruments and techniques of experiment. - 2004. – No. 3. – Pp. 78-82.

СЕКЦИЯ 4
БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ
И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

DOI: 10.58168/MIST2026_1375-1382

УДК 004

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ БПЛА В УСЛОВИЯХ
НЕДОСТАТОЧНОСТИ СИГНАЛОВ ГЛОБАЛЬНЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

С.А. Врагов¹, С.В. Фролов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается проблема обеспечения надежной навигации БПЛА в условиях отсутствия или подавления сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Актуальность темы обусловлена расширением сфер применения дронов в сложных условиях: плотная городская застройка, внутренние помещения зданий, зоны действия средств радиоэлектронной борьбы. В заключении обосновывается перспективность гибридного подхода, основанного на слиянии данных разнотипных сенсоров для обеспечения оптимальных условий полета БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, дрон, навигация, автономность, построение маршрута, ГНСС, GPS, отказоустойчивость, инерциальная навигация.

FEATURES OF UAV ROUTE PLANNING IN CONDITIONS
OF INSUFFICIENT GLOBAL NAVIGATION SATELLITE
SYSTEM SIGNALS

S.A. Vragov¹, S.V. Frolov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article addresses the problem of ensuring reliable UAV navigation in the absence or suppression of global navigation satellite system (GNSS) signals. The relevance of the topic is driven by the expanding applications of drones in complex environments: dense urban areas, indoor

spaces, and zones affected by electronic warfare. The conclusion substantiates the promise of a hybrid approach based on multi-sensor data fusion to ensure optimal flight conditions for UAVs.

Keywords: UAV, drone, navigation, autonomy, route planning, GNSS, GPS, fault tolerance, inertial navigation.

Введение

Современные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) прочно вошли в нашу жизнь, выполняя широкий спектр задач – от доставки грузов до мониторинга труднодоступных территорий. Основой навигации для подавляющего большинства дронов являются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), такие как GPS, ГЛОНАСС, BeiDou. Однако существует целый класс сценариев, где использование спутниковой навигации затруднено или невозможно. К таким условиям относятся: полеты в плотной городской застройке («каньоны» улиц), внутри помещений, в туннелях, а также в условиях воздействия средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), которые глушат или подменяют сигналы спутников. В таких ситуациях на первый план выходят альтернативные и автономные методы построения маршрута и определения координат.

В статье разбираем основные группы методов, которые помогают беспилотнику ориентироваться, когда сигнал GPS/GNSS пропал или его недостаточно. Смотрим на физические принципы, особенности применения, плюсы и минусы.

1. Сенсорные и инерциальные методы навигации

Эта группа методов полагается только на бортовые датчики. Плюс – они полностью автономны и не боятся, что кто-то их заглушит радиоэлектронной борьбой.

1.1. Инерциальная навигация (IMU)

Инерциальная навигация – основа любого автономного полёта. Она берёт данные с акселерометров (они меряют ускорение) и гироскопов (меряют угловую скорость). Всё это объединено в инерциальный измерительный модуль (IMU). Система интегрирует эти показатели по времени и вычисляет текущую скорость и положение – относительно известной стартовой точки.

Плюсы: полная автономность, высокая частота обновления (сотни и тысячи раз в секунду), устойчивость к помехам, компактность и низкая стоимость.

Минусы: главная беда – накопление ошибки со временем, это называется дрейф. Даже маленькая неточность измерений, интегрируясь, быстро превращается в серьёзное расхождение между реальными и расчётными координатами. Для долгих полётов ИНС в чистом виде не годится – нужно периодически корректироваться от других систем.

1.2. Визуальная одометрия и оптический поток

Визуальная одометрия (VO) – это метод оценки движения по анализу последовательности изображений с бортовой камеры. Алгоритм отслеживает характерные особенности (углы, края, текстуры) в кадре и вычисляет перемещение аппарата относительно них. Оптический поток – упрощенная версия этого метода, часто используемая для стабилизации (например, зависания на месте) и основанная на анализе смещения всей картинка.

Плюсы: Не требует внешней инфраструктуры (кроме освещения), использует недорогие камеры, позволяет эффективно контролировать движение на малых скоростях и высотах.

Минусы: Критическая зависимость от освещения и текстуры поверхности. В темноте или над однородной поверхностью (вода, снег, гладкий пол) метод работает нестабильно или полностью деградирует.

2. Методы построения карт и локализации (SLAM)

Технология SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) является вершиной автономной навигации. Она позволяет БПЛА одновременно строить карту неизвестного окружающего пространства и определять свое местоположение на этой карте. В зависимости от основного сенсора различают несколько видов SLAM.

2.1. Визуальный SLAM (Visual SLAM)

Использует данные с одной (монокулярный) или нескольких (стерео) камер. Алгоритм находит ключевые точки в кадре, сопоставляет их между кадрами и на основе этого восстанавливает траекторию движения и трехмерную структуру окружения.

Плюсы: используется простая и легкая камера, позволяет получать богатую информацию о среде (цвет, текстура).

Минусы: Высокая вычислительная сложность, проблемы с масштабированием (при монокулярной системе невозможно определить истинный масштаб сцены), чувствительность к движению и резким сменам кадра.

2.2. Лидарный SLAM (LiDAR SLAM)

Применяет лазерные дальномеры (LiDAR), которые вращаются и создают облако точек с высокой точностью. Этот метод лежит в основе многих автономных автомобилей и высокотехнологичных дронов. Технология LOAM (Lidar Odometry and Mapping) является одной из ключевых реализаций.

Плюсы: Высочайшая точность построения карты, устойчивость к условиям освещения (работает в полной темноте), большой рабочий диапазон.

Минусы: Высокая стоимость и вес оборудования, что критично для легких БПЛА. Также возникают проблемы в условиях сильной запыленности или тумана, где лазерный луч рассеивается. Высокое энергопотребление.

3. Методы, основанные на внешней инфраструктуре

В контролируемых зонах (закрытые помещения, промышленные площадки) эффективно создание локальной навигационной инфраструктуры.

3.1. Оптические системы (на примере разработки ИТМО «Восток»)

Российские ученые из ИТМО разработали систему «Восток», которая использует модули со светодиодами, излучающими модулированный сигнал. Фотоприемники на дроне принимают этот сигнал, и бортовая система вычисляет координаты с высочайшей точностью (до 4 мм). Это альтернатива использованию QR-кодов, которые требуют хорошего освещения.

Плюсы: Сверхвысокая точность (миллиметры), не требует сложных вычислений на борту, устойчива к оптическим помехам (туман, пыль), использует дешевые компоненты.

Минусы: требует предварительной установки модулей в зоне полета. Радиус действия ограничен мощностью светодиодов и прямой видимостью. Подходит для локальных задач (посадка на платформу, полеты в цехах).

3.2. Радиочастотные системы (UWB, Wi-Fi, BLE)

Для позиционирования используются сети сверхширокополосных сигналов (UWB), Wi-Fi или Bluetooth-метки (BLE). Принцип работы основан на измерении времени пролета сигнала (ToF) или угла его прихода (AoA) от нескольких наземных станций с известными координатами.

Плюсы: Хорошая точность (UWB – десятки сантиметров), сигнал проходит сквозь стены, может использовать существующую инфраструктуру (Wi-Fi).

Минусы: Подверженность многолучевости и интерференции, требует развертывания сети маяков, ограниченная пропускная способность.

4. Глобальные методы, альтернативные ГНСС

Для навигации на больших пространствах, где нельзя развернуть наземную инфраструктуру, но недоступен GPS, применяются специфические методы.

4.1. Навигация по картам местности (система Raptor)

Компания Maxar Intelligence представила систему Raptor, которая позволяет дрону определять координаты путем сравнения изображения с его камеры с детальными 3D-картами местности, загруженными в память.

Плюсы: Глобальный охват (более 90 млн км² карт), устойчивость к подавлению GPS, не требует дополнительного оборудования на борту (только камера). Точность позиционирования достигает 3-10 метров.

Минусы: Требуется предварительная загрузка карт высокого разрешения. Точность зависит от узнаваемости рельефа (сложности на однородной местности). Работа в условиях плохой видимости (туман, облачность) затруднена.

4.2. Небесная (звездная) навигация

Этот древний метод, адаптированный для дронов, предполагает фотографирование звездного неба и сопоставление полученного изображения со звездными каталогами. По положению звезд система вычисляет свое местоположение.

Плюсы: Полная скрытность (не излучает сигналов), абсолютная защищенность от РЭБ, глобальная применимость (над океанами, в пустынях).

Минусы: Требуется ясное ночное небо, большие масса и габариты оборудования, низкая точность (пока порядка 4 км) по сравнению с другими методами.

Заключение

Современные тенденции в развитии навигации БПЛА направлены на отказ от жесткой зависимости от ГНСС в пользу мультисенсорных систем. Идеальная архитектура построения маршрута в условиях нестабильного сигнала предполагает слияние данных (сенсорный фьюжн) от различных датчиков. Например, высокочастотный, но «плывущий» IMU корректируется стабильными данными от

визуальной одометрии или SLAM, которые, в свою очередь, проверяются по опорным точкам от UWB-маяков или оптических систем при посадке.

Выбор конкретного метода или их комбинации всегда является компромиссом между требуемой точностью, условиями эксплуатации, доступной вычислительной мощностью, бюджетом и необходимостью развертывания внешней инфраструктуры. В ближайшем будущем нас ждет широкое внедрение гибридных систем, где алгоритмы искусственного интеллекта будут динамически выбирать наиболее надежный источник данных для обеспечения полета в любых, самых сложных условиях.

Таблица 1 - Сравнительная таблица методов навигации

Метод	Точность (прим.)	Требуемая инфраструктура	Чувствительность к помехам	Автономность	Стоимость реализации
Инерциальная (IMU)	Средняя (дрейф)	Нет	Низкая	Полная	Низкая
Визуальный SLAM	Средняя	Нет (нужен свет)	Высокая (свет/текстура)	Полная	Средняя
Лидарный SLAM	Высокая	Нет	Средняя (осадки)	Полная	Очень высокая
Оптич. (LED, QR)	Очень высокая	Требуется (маяки)	Низкая (LED), Высокая (QR)	Локальная	Средняя
Радио (UWB)	Высокая	Требуется (маяки)	Средняя (многолучевость)	Локальная	Средняя
По картам (Raptor)	Средняя	3D-карты местности	Средняя (видимость)	Глобальная	Средняя
Звездная	Низкая	Нет	Низкая (только ясное небо)	Глобальная	Высокая

Список литературы

1. Алаторцев, Д. В. Анализ эффективных методов оценки дальности и алгоритмов обработки видеоинформации на БПЛА / Д. В. Алаторцев, А. В. Хамухин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Вып. 12. – С. 255–261.

2. Али, Б. Алгоритмы навигации беспилотных летательных аппаратов с использованием систем технического зрения / Б. Али, Р. Н. Садеков, В. В. Цодокова

// Гироскопия и навигация. – 2022. – Т. 30. – № 4 (119). – С. 87–105. – DOI:<https://doi.org/10.17285/0869-7035.00105>.

3. Исаев, М. А. Метод вычисления параметров линейного движения беспилотного летательного аппарата в условиях отсутствия сигналов спутниковых радионавигационных систем на этапе посадки / М. А. Исаев, А. М. Исаев, Г. И. Линец // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – № 3. – С. 67-89. – DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-67-89.

4. Лего, Т. Решение задачи планирования полета малогабаритного беспилотного летательного аппарата в условиях городской среды / Т. Лего, А. В. Фомичев, Я. Лю // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. – № 7. – С. 19–24.

5. Липанов, И. Д. Технологии и методы планирования перемещения БПЛА по маршрутным точкам / И. Д. Липанов, А. Д. Хомоненко // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2024. – № 3 (39). – С. 30–43. – DOI: 10.20295/2413-2527-2024-339-30-43.

6. Подход к третичной обработке информации от разнородных источников для сокращения времени на классификацию воздушных объектов в комплексах специального назначения / А. В. Прокопишен, А. С. Ситников, А. Н. Потапов, О. Л. Бордюжа // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 71–78.

7. Способ построения «субоптимальных» маршрутов мониторинга разнотипных источников беспилотным летательным аппаратом / А. В. Тимошенко [и др.] // Труды МАИ. – 2020. – № 111. – 18 с. – DOI 10.34759/trd-2020-111-10.

8. Хайбутов, К. Е. Способ автоматизированного отождествления траекторий групповых воздушных целей на основе системного анализа и обработки информации в комплексах средств автоматизации военного назначения / К. Е. Хайбутов, П. Н. Землянко, А. Н. Потапов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 1. – С. 96–104.

References

1. Alatortsev D. V., Khamukhin A.V. Analysis of effective range estimation methods and algorithms for processing video information on UAVs // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2020. Issue. 12. Pp. 255-261.

2. Ali B., Sadekov R.N., Tsodokova V. V. Algorithms for navigation of unmanned aerial vehicles using technical vision systems // Gyroscopy and navigation.

2022. Vol. 30, No. 4 (119). Pp. 87-105. DOI:<https://doi.org/10.17285/0869-7035.00105>.

3. Isaev M.A., Isaev A.M., Linets G.I. Method for calculating the parameters of linear motion of an unmanned aerial vehicle in the absence of signals from satellite radio navigation systems at the landing stage // Management, communication and security systems. 2022. No. 3. Pp. 67-89. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-67-89.

4. Lego T., Fomichev A.V., Liu Ya. Solving the problem of flight planning of a small-sized unmanned aerial vehicle in an urban environment // Automation. Modern technologies. 2015. No. 7. Pp. 19-24.

5. Lipanov I. D., Khomonenko A.D. Technologies and methods of planning the movement of UAVs along waypoints // Intelligent technologies in transport. 2024. No. 3 (39). Pp. 30-43. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-339-30-43.

6. Prokopishen A.V., Sitnikov A.S., Potapov A.N., Bordyuzha O.L. An approach to the tertiary processing of information from heterogeneous sources to reduce the time for classifying air objects in special-purpose complexes // Modeling of systems and processes. - 2025. – Vol. 18, No. 1. – Pp. 71-78.

7. A method for constructing "suboptimal" routes for monitoring various types of sources by an unmanned aerial vehicle / A.V. Timoshenko [et al.] // Proceedings of the MAI. – 2020. – № 111. – P. 18. – DOI 10.34759/trd-2020-111-10.

8. Khaibutov K.E., Zemlyanko P.N., Potapov A.N. Method of automated identification the trajectory of group air targets based on system analysis and information processing in military automation complexes // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 1. – Pp. 96-104.

ГИБРИДНАЯ АРХИТЕКТУРА КООПЕРАТИВНОЙ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С ФОРМАЛЬНЫМИ ГАРАНТИЯМИ БЕЗОПАСНОСТИ

И.Р. Евчук¹, А.И. Заревич¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе мы разбираем задачу, как группе мобильных роботов безопасно и эффективно перемещаться вместе, когда обстановка постоянно меняется. Предложили гибридную архитектуру – расширили классическую модель взаимных скоростных препятствий, добавив в неё информацию о том, куда именно направляются соседние роботы. Метод работает в два уровня: глобальная прокладка маршрута делается на модифицированном алгоритме RRT*, а локальное управление занимается оперативной координацией в реальном времени. Особое внимание уделили математическому обоснованию безопасности – строго доказали, что сдвиг зоны избегания в сторону цели соседа не ломает гарантии бесстолкновительного движения. Вычислительные эксперименты показали, что наша архитектура заметно реже приводит к взаимным блокировкам и повышает долю успешно выполненных миссий по сравнению с базовыми алгоритмами.

Ключевые слова: кооперативная навигация, многоагентные системы, мобильные роботы, избегание столкновений, RVO, гибридная архитектура, формальные гарантии безопасности, RRT*.

HYBRID ARCHITECTURE OF COOPERATIVE NAVIGATION OF MOBILE ROBOTS WITH FORMAL GUARANTEES OF SAFETY

I.R. Evchuk¹, A.I. Zarevich¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper examines the problem of safe and effective joint movement of groups of mobile robots in a dynamically changing environment. A hybrid architecture is proposed that expands the classical model of mutual growth obstacles by integrating information about the target positions of surrounding robots. The method is implemented as a two-level system: global trajectory planning

is performed based on a modified RRT* algorithm, and local management provides real-time operational coordination. Special attention is paid to the rigorous mathematical justification of safety: it is formally proved that the vector displacement of the avoidance area in the direction of the neighbor's goal does not violate the guarantees of uninterrupted movement. The results of computational experiments show that the proposed architecture significantly reduces the frequency of interlocks and increases the proportion of successfully completed missions compared to the basic algorithms.

Keywords: cooperative navigation, multi-agent systems, mobile robots, collision avoidance, RVO, hybrid architecture, formal safety guarantees, RRT*.

Введение

Современные приложения автономной робототехники – от складской логистики до поисково-спасательных операций – всё чаще требуют, чтобы роботы работали в группе согласованно. В таких условиях главной становится задача кооперативной навигации: нужно, чтобы несколько агентов безопасно и эффективно двигались к своим индивидуальным целям, без централизованного управления.

Существующие подходы делятся на две категории. Централизованные методы, например Conflict-Based Search (CBS), умеют находить оптимальные решения, но их сложность растёт экспоненциально с числом роботов – для больших групп они становятся непрактичными. Децентрализованные реактивные методы, самые известные из которых – Reciprocal Velocity Obstacles (RVO) и Optimal Reciprocal Collision Avoidance (ORCA), наоборот, хорошо масштабируются. Однако их ключевой недостаток – игнорирование стратегических намерений других агентов. Принимая решения только на основе их текущих позиций и скоростей, роботы часто попадают в ситуации взаимных блокировок, например, при встречном движении в узком коридоре.

Гибридные архитектуры, объединяющие глобальное планирование траектории и локальное избегание столкновений, представляются естественным путем решения этой проблемы. Однако большинство из них используют фиксированные гиперпараметры, требующие ручной настройки, и не учитывают цели соседей при локальных маневрах.

Целью данной работы является представление гибридной архитектуры GARCA (Goal-Aware Reciprocal Collision Avoidance), которая преодолевает указанные ограничения. Основное внимание уделяется описанию архитектуры и формальному обоснованию ее безопасности – ключевому преимуществу перед методами «черного ящика» на основе обучения.

Архитектура гибридного метода GARCA

Метод GARCA реализован как двухуровневая децентрализованная система управления навигацией группы мобильных роботов. Общая схема архитектуры представлена на рисунке 1. Первый уровень обеспечивает глобальное планирование траекторий, второй – локальную координацию движений. Ключевая особенность системы – наличие обратных связей, которые гарантируют согласование глобальных планов с фактическими перемещениями роботов.



Рисунок 1 – Структурная схема метода GARCA+ГА

На рисунке 2 синим цветом показана классическая зона взаимодействия для пары роботов. Если выбрать скорость из этой области, есть риск столкнуться. В нашем методе GARCA эта зона смещается (красная область) – на вектор, который направлен к цели второго робота. При этом критическая область, где столкновение почти неизбежно (серый круг), остаётся нетронутой. Такое смещение заставляет первого робота выбирать скорость, которая не только безопасна, но и помогает соседу двигаться к его цели. А значит, симметричные тупиковые ситуации разрешаются.

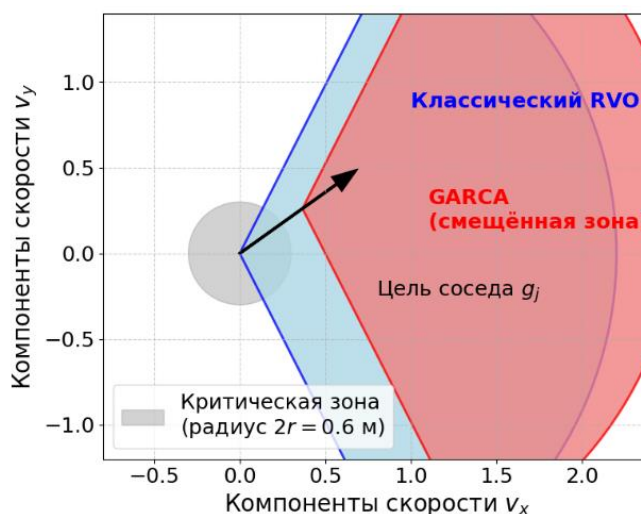


Рисунок 2 – Иллюстрация смещения зоны RVO

Сравнение того, как происходит обмен информацией между двумя роботами в классическом и предложенном подходах, показано на рисунке 3. В методе RVO (а) роботы обмениваются только своим текущим состоянием. А GARCA (б) добавляет к обмену ещё и цели – именно это и даёт кооперативный эффект.

Существенное преимущество разработанной архитектуры – возможность обеспечения формальных гарантий безопасности, то есть математического доказательства отсутствия столкновений при выполнении определённых условий. Указанные допущения (точная локализация, надёжный канал связи, ограниченная скорость движущихся препятствий и безопасное начальное расположение) вполне реализуемы на современных робототехнических платформах.

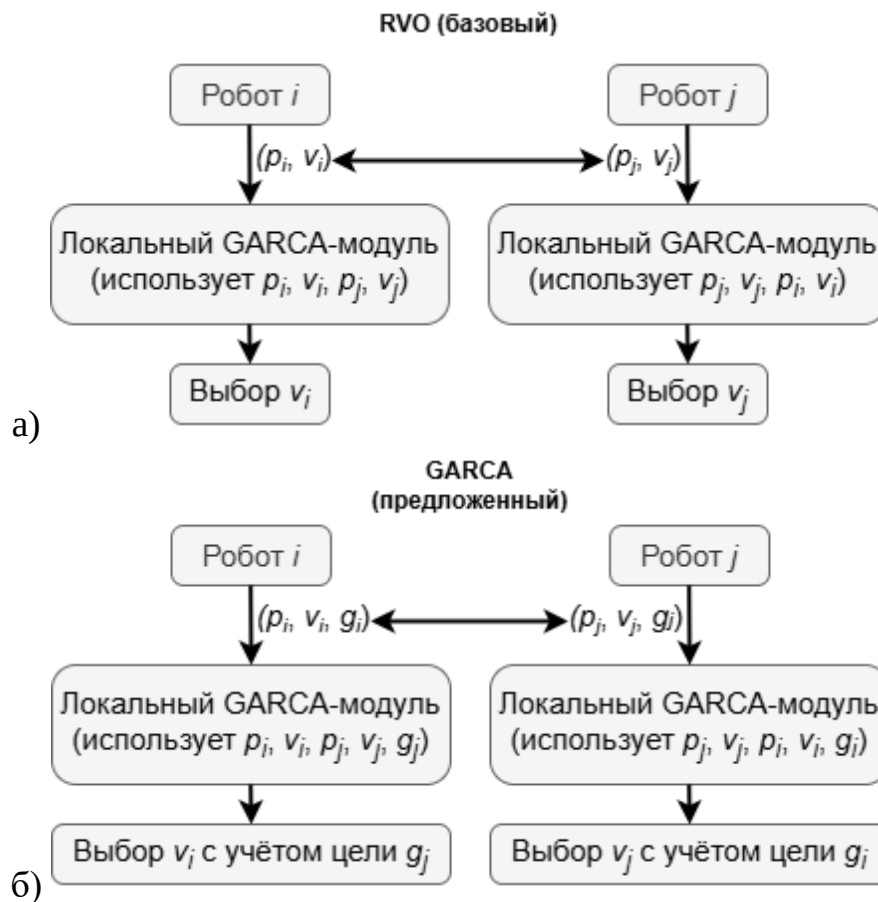


Рисунок 3 – Блок-схема взаимодействия двух роботов:

а) классический RVO; б) GARCA

Доказательство безопасности опирается на геометрические характеристики модифицированной зоны RVO. Как иллюстрирует рисунок 2, вектор смещения ориентирован на цель соседнего робота и не направлен внутрь критической зоны столкновения – круга радиусом, равным сумме радиусов роботов и защитного зазора. Следовательно, область безопасных скоростей, определяемая как пересечение дополнений всех смещённых зон RVO для каждого соседа, всегда остаётся непустой и включает нулевую скорость. Это обеспечивает наличие

у робота гарантированного безопасного манёвра, такого как полная остановка. При высокой частоте обновления управляющих воздействий (10 Гц) безопасность поддерживается непрерывно на протяжении всего движения.

Результаты экспериментальных исследований

Эффективность предложенного подхода была подтверждена в ходе численных экспериментов. Сравнительное тестирование проводилось для группы из 20 роботов в двух типах сред: структурированной офисной (с коридорами и комнатами) и неструктурированной полигональной (с хаотично расположенными препятствиями). Архитектура тестировалась как с фиксированными, эвристически подобранными параметрами, так и в составе предложенного автором гибридного метода GARCA+ГА, где 6 ключевых параметров архитектуры автоматически настраивались с помощью генетического алгоритма под конкретный тип среды.

Результаты приведены в таблица. Они наглядно демонстрируют преимущества учета целей соседей. Базовая версия алгоритма с фиксированными параметрами превосходит классические методы RVO и ORCA по успешности выполнения миссий. Адаптивная версия, использующая генетический алгоритм, показывает наилучшие результаты в обеих средах. Это подтверждает важность настройки поведения под конкретные условия.

Таблица 1 – Сравнение методов (усреднено по 30 запускам)

Метод	Среда	Успех, %	Время J_T, с	Длина J_L, м	Блокировки
RVO	Офис	88±4,2	42,1±3,1	14,2±1,3	8,4±1,2
	Полигон	64±6,1	68,3±5,7	21,7±2,0	10,3±1,8
GARCA (фикс.)	Офис	94±2,6	36,2±2,2	12,1±0,9	4,2±0,8
	Полигон	76±4,3	58,7±4,0	17,9±1,4	5,8±1,1
GARCA+ГА	Офис	97±1,9	32,4±1,8	11,3±0,7	1,5±0,4
	Полигон	89±3,0	48,2±3,2	15,1±1,2	2,3±0,6

Наиболее показательным является сценарий взаимной блокировки двух роботов в узком коридоре. Как показано на рисунке 4, классические методы приводят к хаотичным колебаниям и отсутствию прогресса, в то время как GARCA обеспечивает плавное и быстрое расхождение агентов.

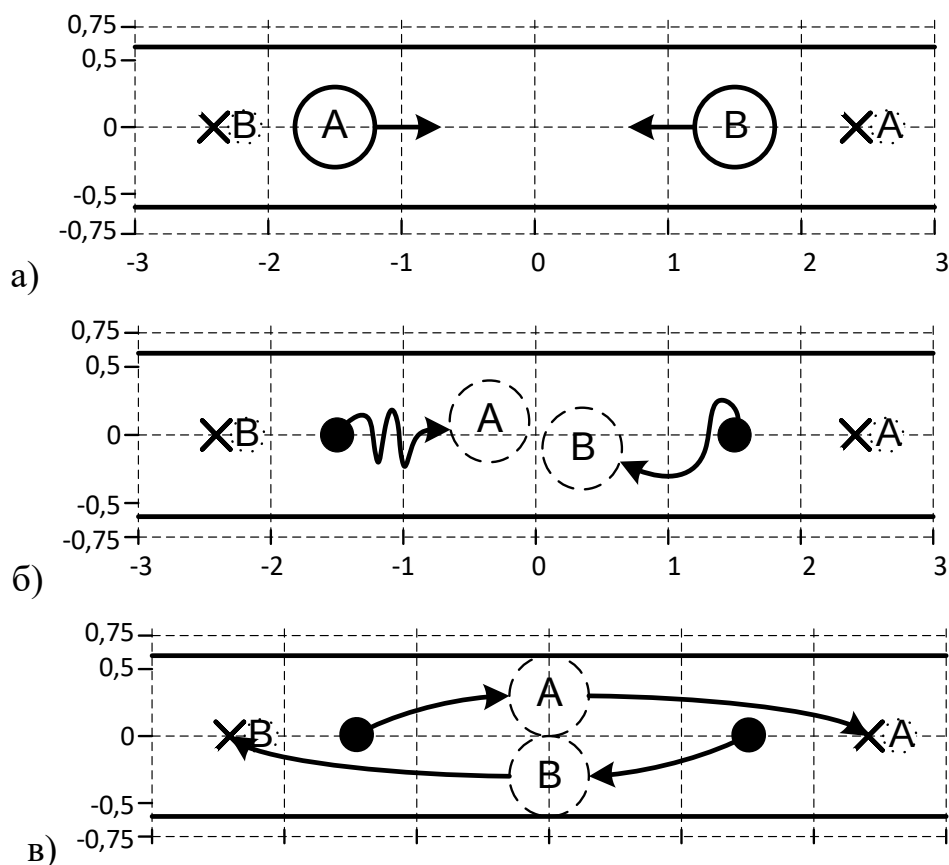


Рисунок 4 – Иллюстрация сценария взаимной блокировки:

б) RVO – хаотичные движения;

в) GARCA+ГА – плавное расхождение

Заключение

В работе представлен гибридный метод кооперативной навигации для групп мобильных роботов. Главной особенностью метода является расширение классического механизма RVO за счет учета целевых позиций соседних агентов, что позволяет эффективно разрешать конфликтные ситуации и взаимные блокировки.

В работе приведено формальное доказательство безопасности предложенного подхода. Показано, что модификация зоны избегания путем ее смещения к цели соседа не нарушает условий бесконфликтности, сохраняя математические гарантии, присущие геометрическим методам. Это выгодно отличает наш метод от недетерминированных подходов на основе машинного обучения.

Результаты численного эксперимента подтвердили эффективность архитектуры, то есть показано, что предложенный: метод GARCA в связке с эволюционной настройкой параметров значительно превосходит базовые алгоритмы RVO и ORCA по успешности выполнения миссий и времени достижения целей,

особенно в сложных полигональных средах, при этом количество взаимных блокировок сокращается в разы. Таким образом усиливается баланс между адаптивностью, вычислительной эффективностью и строгими гарантиями безопасности в многоагентных робототехнических системах.

Список литературы

1. Sharon G., Stern R., Felner A., Sturtevant N. R. Conflict-based search for optimal multi-agent pathfinding // Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 219. – Pp. 40-66.
2. Van den Berg J., Lin M., Manocha D. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation // 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2008. – Pp. 1928-1935.
3. Van den Berg J., Guy S. J., Lin M., Manocha D. Reciprocal n-body collision avoidance // Robotics Research: The 14th International Symposium ISRR. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. – Pp. 3-19.
4. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning // The International Journal of Robotics Research. – 2011. – Vol. 30, № 7. – Pp. 846-894.
5. Заревич А. И., Макаренко Ф. В., Ягодкин А. С., Зольников К. В. Моделирование поведения мобильных роботов с использованием генетических алгоритмов // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 7-16.
6. Santos F. M., Silva M. G., Moreira A. P. Hybrid RRT*-RVO for multi-robot navigation in dynamic environments // ROBOTICA. – 2019. – Vol. 37, № 9. – Pp. 1571-1587.
7. Преобразования элементов уровней проектирования с учетом радиационного воздействия / А. В. Полуэктов, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2025. – № 3. – С. 19–28.
8. Исследование способов защиты информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В. К. Зольников, С. А. Сазонова, А. И. Заревич, С. С. Башун // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 27–40.
9. Исследование эффективности защиты от гамма-излучения с использованием многослойного полусферического экрана / А. В. Полуэктов, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко, М. В. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 71–83.

10. Разработка информационной подсистемы банка по выдаче кредитов / С. А. Сазонова, В. Ф. Асминин, А. И. Заревич // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2025. – № 2 (36). – С. 10–17.
11. Анализ количества потребления SF_6 и CF_4 для заправки коммутационной аппаратуры высокого напряжения / Н. Ю. Заленская, Ф. В. Макаренко, А. И. Заревич, А. В. Полуэктов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 3–16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.
12. Аппроксимация спектра поглощения фосфида индия в контексте моделирования процесса осязания / Ф. В. Макаренко, В. К. Зольников, А. И. Заревич [и др.] // Микроэлектроника. – 2024. – Т. 53, № 4. – С. 318–330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
13. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // Russian Microelectronics. – 2024. – Vol. 53, № 4. – Pp. 329–338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.
14. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm / E. Grosheva, A. Zarevich, A. Deniskina, K. Fatullaeva // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
15. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex / A. Poluektov, T. Skvortsova, E. Anikeev, A. Yagodkin // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.
16. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHN.
17. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102–111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.
18. Моделирование влияния электромагнитных полей на микросхемы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, К. В. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 129–136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

References

1. Sharon G., Stern R., Felner A., Sturtevant N. R. Conflict-based search for optimal multi-agent pathfinding // Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 219. – Pp. 40-66.
2. Van den Berg J., Lin M., Manocha D. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation // 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2008. – Pp. 1928-1935.
3. Van den Berg J., Guy S. J., Lin M., Manocha D. Reciprocal n-body collision avoidance // Robotics Research: The 14th International Symposium ISRR. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. – Pp. 3-19.
4. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning // The International Journal of Robotics Research. – 2011. – Vol. 30, No. 7. – Pp. 846-894.
5. Zarevich A. I., Makarenko F. V., Yagodkin A. S., Zolnikov K. V. Modeling the behavior of mobile robots using genetic algorithms // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – Pp. 7-16.
6. Santos F. M., Silva M. G., Moreira A. P. Hybrid RRT*-RVO for multi-robot navigation in dynamic environments // ROBOTICA. – 2019. – Vol. 37, No. 9. – Pp. 1571-1587.
7. Transformations of elements of design levels taking into account radiation exposure / A.V. Poluektov, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko [et al.] // Issues of atomic science and technology. Series: Physics of radiation effects on electronic equipment. 2025. No. 3. Pp. 19-28.
8. Investigation of ways to protect information from leakage through acoustic and vibroacoustic channels / V. K. Zolnikov, S. A. Sazonova, A. I. Zarevich, S. S. Bashun // Modeling of systems and processes. – 2025. – Vol. 18, No. 2. – Pp. 27-40.
9. Investigation of the effectiveness of protection against gamma radiation using a multilayer hemispherical screen / A.V. Poluektov, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, M. V. Solodilov // Modeling of systems and processes. 2025. Vol. 18, No. 4. Pp. 71-83.
10. Development of the bank's information subsystem for issuing loans / S. A. Sazonova, V. F. Asminin, A. I. Zarevich // Information technologies in construction, social and economic systems. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 10-17.

11. Analysis of the amount of SF₆ and cf₄ consumption for refueling high-voltage switching equipment / N. Y. Zalenskaya, F. V. Makarenko, A. I. Zarevich, A.V. Poluektov // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energy problems.* – 2024. – Vol. 26, No. 4. – Pp. 3-16. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-4-3-16. – EDN HOOMCR.
12. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of modeling the process of sensitization / F. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // *Microelectronics.* – 2024. – Vol. 53, No. 4. – Pp. 318-330. – DOI 10.31857/S0544126924040041. – EDN ZACOA1.
13. Approximation of the absorption spectrum of indium phosphide in the context of simulation of the process of sensation / Ph. V. Makarenko, V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich [et al.] // *Russian Microelectronics.* – 2024. – Vol. 53, № 4. – Pp. 329–338. – DOI 10.1134/S1063739724040041.
14. Development of technology and design platforms at topological norms less than 90 nm / E. Grosheva, A. Zarevich, A. Deniskina, K. Fatullaeva // *BIO Web of Conferences.* – 2024. – Vol. 145. – P. 03018. – DOI 10.1051/bioconf/202414503018.
15. Modeling of information-analytical support for the timber industry complex / A. Poluektov, T. Skvortsova, E. Anikeev, A. Yagodkin // *BIO Web of Conferences.* – 2024. – Vol. 145. – P. 04022. – DOI 10.1051/bioconf/202414504022. – EDN YJLKEE.
16. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // *BIO Web of Conferences.* – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.
17. Increasing the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, A.V. Achkasov, Yu.A. Chevychelov // *Modeling systems and processes.* – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.
18. Modeling the influence of electromagnetic fields on microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, K. V. Zolnikov // *Modeling of systems and processes.* – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

ЭВОЛЮЦИОННАЯ НАСТРОЙКА ГИПЕРПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА НАВИГАЦИИ ДЛЯ АДАПТАЦИИ ГРУППЫ РОБОТОВ К ТИПУ СРЕДЫ

И.Р. Евчук¹, М.А. Заревич²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГАОУ ВО «Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники»

Аннотация. Эффективность алгоритмов кооперативной навигации групп мобильных роботов критически зависит от их гиперпараметров, оптимальные значения которых меняются в зависимости от структуры окружающей среды (например, офисной или полигональной). Ручная настройка этих параметров для каждого нового типа среды непрактична. В данной работе предлагается метод автоматической адаптации поведения группы роботов с использованием эволюционной настройки. На основе гибридной архитектуры GARCA, учитывающей цели соседей, формируется компактный вектор из шести интерпретируемых гиперпараметров. Для их оптимизации применяется генетический алгоритм с вещественным кодированием. Результаты численного эксперимента подтверждают, что эволюционная настройка позволяет автоматически находить различные стратегии поведения: "агрессивную" для структурированных офисных сред и "кооперативную" для сред с хаотичными препятствиями. Адаптированный алгоритм GARCA+ГА значительно превосходит методы с фиксированными параметрами по успешности и времени выполнения миссий.

Ключевые слова: кооперативная навигация, группа мобильных роботов, эволюционная настройка, генетический алгоритм, адаптация к среде, гиперпараметры, GARCA.

EVOLUTIONARY TUNING OF HYPERPARAMETERS OF A HYBRID NAVIGATION ALGORITHM FOR ADAPTING A GROUP OF ROBOTS TO THE ENVIRONMENT TYPE

I.R. Evchuk¹, M.A. Zarevich²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Abstract. The efficiency of cooperative navigation algorithms for groups of mobile robots critically depends on their hyperparameters, the optimal values of which vary with the structure of the environment (e.g., office or polygon). Manually tuning these parameters for each new environment type is impractical. This paper proposes a method for automatically adapting the behavior of a robot group using evolutionary tuning. Based on the GARCA hybrid architecture, which considers neighbors' goals, a compact vector of six interpretable hyperparameters is formed. A genetic algorithm with real-valued encoding is used for their optimization. The results of a numerical experiment confirm that evolutionary tuning can automatically discover different behavioral strategies: an "aggressive" one for structured office environments and a "cooperative" one for environments with chaotic obstacles. The adapted GARCA+GA algorithm significantly outperforms methods with fixed parameters in terms of mission success rate and completion time.

Keywords: cooperative navigation, group of mobile robots, evolutionary tuning, genetic algorithm, environment adaptation, hyperparameters, GARCA.

Введение

Современные многоагентные робототехнические системы, используемые в логистике, сельском хозяйстве и поисково-спасательных операциях, функционируют в самых разных условиях – от строго структурированных складских помещений до полностью неструктурированных природных ландшафтов. Эффективность алгоритмов, управляющих движением группы роботов, напрямую зависит от их параметров: то, что хорошо работает в широком коридоре, может привести к заторам в узком проходе. Ручная подборка этих параметров для каждой новой среды – процесс трудоемкий и зачастую невозможный в условиях априорной неопределенности.

Эволюционные методы, в частности генетические алгоритмы (ГА), давно зарекомендовали себя как эффективный инструмент для автоматической настройки поведения роботов. Однако ранее они применялись в основном для синтеза сложных "черных ящиков" (например, нейросетей), что делало результаты трудными для интерпретации и анализа.

В данной работе предлагается иной подход: эволюционная настройка компактного набора гиперпараметров уже существующей, прозрачной и безопасной гибридной архитектуры навигации GARCA (Goal-Aware Reciprocal Collision Avoidance). Это позволяет сочетать адаптивность, свойственную эволюционным методам, с интерпретируемостью и гарантиями безопасности детерминированных алгоритмов.

Целью работы является демонстрация того, как генетический алгоритм может автоматически адаптировать поведение группы роботов к типу среды, изменяя всего шесть ключевых параметров архитектуры GARCA.

1. Объект настройки: архитектура GARCA и её гиперпараметры

Основой для настройки служит гибридная архитектура GARCA. Ее ключевая особенность – учет целевых позиций соседних роботов при локальном избегании столкновений, что позволяет разрешать взаимные блокировки. Архитектура имеет ряд параметров, которые напрямую влияют на характер движения группы. Эти параметры и были выбраны в качестве объекта для эволюционной оптимизации. Вектор настраиваемых гиперпараметров включает шесть величин, каждая из которых имеет четкий физический смысл и диапазон допустимых значений (Таблица 1).

Таблица 1 – Диапазоны оптимизируемых параметров

Параметр	Диапазон	Описание
Смещение зоны RVO (η)	[0.0 ... 0.5]	Определяет, насколько сильно зона избегания "подталкивается" к цели соседа. Высокие значения усиливают кооперацию.
Вес цели в локальной оптимизации (λ)	[0.1 ... 2.0]	Влияние собственной цели на выбор мгновенной скорости.
Вес социального потенциала (γ)	[0.0 ... 1.0]	Определяет, насколько глобальный планировщик избегает областей с большим скоплением роботов.
Максимальная скорость (v_{max}), м/с	[0.3 ... 1.2]	Прямо задает "агрессивность" или "осторожность" движения.
Горизонт предсказания (τ_{coll}), с	[0.5 ... 3.0]	Время, на которое вперед прогнозируется возможность столкновения.
Радиус коммуникации (R_{comm}), м	[2 ... 10]	Дистанция, в пределах которой роботы обмениваются данными (позиция, скорость, цель).

Выбор именно этих параметров обусловлен их высокой чувствительностью к конфигурации среды и слабой корреляцией между собой.

2. Метод эволюционной настройки

Для поиска оптимальных значений вектора гиперпараметров x применяется генетический алгоритм с вещественным кодированием. Процесс настройки происходит оффлайн, в симуляторе. Каждая особь в популяции ГА представляет собой набор из шести вещественных чисел – кандидатов в оптимальные параметры.



Рисунок 1 – Структурная схема метода GARCA+ГА

Процесс оптимизации (схематично показан на Рисунке 2.1) итеративен. Для каждой особи запускается симуляция группы из 20 роботов в заданной среде. По итогам симуляции рассчитывается значение фитнес-функции, которое комплексно оценивает качество работы алгоритма с данным набором параметров. Фитнес-функция учитывает:

- общее время достижения целей;
- суммарную длину пройденных путей;
- количество эпизодов взаимной блокировки;
- наличие или отсутствие столкновений.

Использование вещественного кодирования (вместо бинарного) позволило кардинально сократить размер хромосомы – с десятков тысяч бит до всего 6 чисел. Это обеспечило быструю сходимость алгоритма за 200 поколений. Основные параметры самого ГА приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры симуляции и генетического алгоритма

Параметр ГА	Значение
Размер популяции	50
Число поколений	200
Тип кроссовера	BLX- α
Тип мутации	Гауссова
Тип отбора	Турнирный
Элитизм	Сохранение 2 лучших особей

3. Результаты адаптации к разным типам сред

Эволюционная настройка проводилась отдельно для двух принципиально разных сред:

- Офисная среда: структурированное пространство с прямыми коридорами, комнатами и узкими проходами.

- Полигональная среда: неструктурированное пространство с хаотично расположенными препятствиями произвольной формы.

Результаты оптимизации, представленные в таблице 3, наглядно демонстрируют, что генетический алгоритм нашел для каждой среды свою, оптимальную стратегию поведения.

Таблица 3 – Оптимальные параметры, найденные ГА

Параметр	Офисная среда	Полигональная среда
Смещение зоны RVO (η)	0,12 (низкое)	0,38 (высокое)
Вес цели (λ)	1,6 (высокий)	0,7 (средний)
Социальный потенциал (γ)	0,2 (низкий)	0,85 (высокий)
Макс. скорость (v_{max}), м/с	1,1 (высокая)	0,5 (низкая)
Горизонт предсказания (τ_{coll}), с	1,2 (короткий)	2,4 (длинный)
Радиус коммуникации (R_{comm}), м	4 (малый)	8 (большой)

В офисной среде сформировалась "агрессивная" стратегия. Роботы движутся с высокой скоростью, слабо реагируя на цели соседей (низкое η) и не тратя время на сложное прогнозирование. Их главная задача – быстро преодолеть длинные прямолинейные участки.

В полигональной среде эволюция выбрала "кооперативную" стратегию. Скорость движения снижена, но сильно увеличены кооперативные параметры (η , γ) и радиус коммуникации. Это позволяет роботам лучше предсказывать движение друг друга в условиях "лабиринта", избегая столкновений в плотных скоплениях препятствий.

Сходимость генетического алгоритма для обеих сред показана на рисунке 3.2. Видно, что в более сложной полигональной среде процесс поиска занял больше времени, но в итоге привел к более высокой итоговой эффективности.

4. Сравнительный анализ эффективности

Финальным этапом стало сравнение адаптированной версии GARCA+ГА с другими методами. Результаты (Таблица 4) подтверждают эффективность предложенного подхода.

Адаптивная версия GARCA+ГА демонстрирует наилучшие результаты в обеих средах. В сложной полигональной среде прирост успешности по сравнению с неадаптированной GARCA составил 13%, а время выполнения сократилось на 18%. Количество взаимных блокировок снизилось в разы.

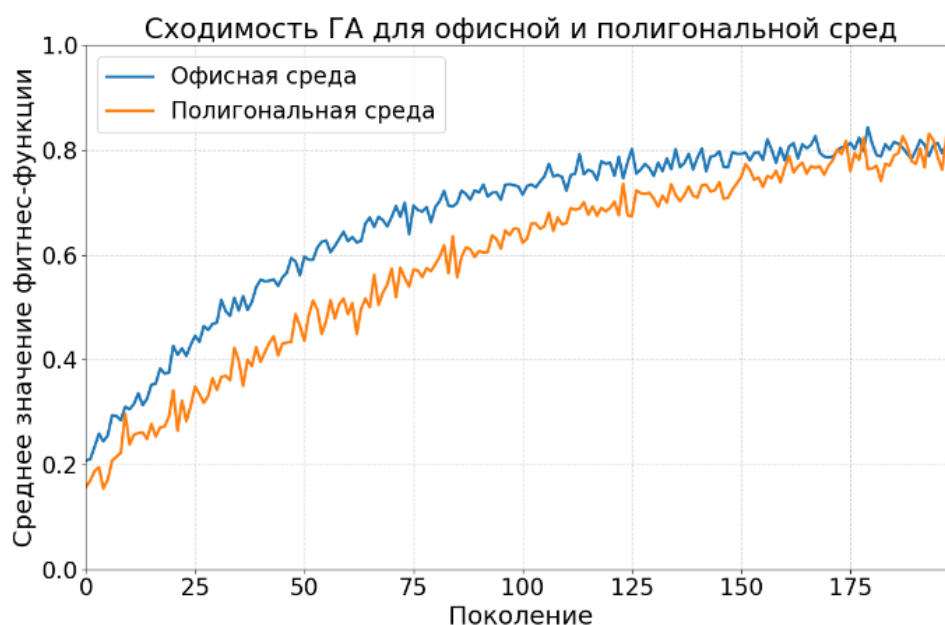


Рисунок 2 – Сходимость ГА для офисной и полигональной сред

Таблица 4 – Сравнение методов (усреднено по 30 запускам)

Метод	Среда	Успех, %	Время, с	Блокировки
RVO	Офис	88	42,1	8,4
	Полигон	64	68,3	10,3
GARCA (фикс.)	Офис	94	36,2	4,2
	Полигон	76	58,7	5,8
GARCA+ГА	Офис	97	32,4	1,5
	Полигон	89	48,2	2,3

Заключение

В работе представлен метод эволюционной настройки гиперпараметров для адаптации группового поведения мобильных роботов к различным типам среды. В отличие от подхода, где эволюция создает непрозрачную модель поведения "с нуля", предложенный метод оптимизирует всего шесть интерпретируемых параметров уже существующей гибридной архитектуры GARCA.

Экспериментально подтверждено, что такой подход позволяет автоматически находить кардинально разные стратегии: высокоскоростную "агрессивную" для структурированных офисных пространств и осторожную "кооперативную" для сложных полигональных сред. Сравнительный анализ показал, что адаптированный алгоритм GARCA+ГА значительно превосходит по эффективности как базовые геометрические методы (RVO, ORCA), так и версию GARCA с фиксированными, эвристически подобранными параметрами.

Таким образом, эволюционная настройка компактного вектора гиперпараметров является мощным и практичным инструментом для создания адаптивных, масштабируемых и при этом интерпретируемых систем кооперативной навигации.

Список литературы

1. Floreano D., Husbands P., Nolfi S. Evolutionary robotics // Springer Handbook of Robotics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – Pp. 1423-1451.
2. Van den Berg J., Lin M., Manocha D. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation // 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2008. – Pp. 1928-1935.
3. Заревич А. И., Макаренко Ф. В., Ягодкин А. С., Зольников К. В. Моделирование поведения мобильных роботов с использованием генетических алгоритмов // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 7-16.
4. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning // The International Journal of Robotics Research. – 2011. – Vol. 30, № 7. – Pp. 846-894.
5. Santos F. M., Silva M. G., Moreira A. P. Hybrid RRT*-RVO for multi-robot navigation in dynamic environments // ROBOTICA. – 2019. – Vol. 37, № 9. – Pp. 1571-1587.
6. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93–100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.
7. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники / Т. П. Новикова, А. А. Бодин, А. И. Заревич // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77–80.
8. Применение элементов отрицательной логики при построении энергоэффективного комбинационного устройства / Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин, О. А. Денисова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 56–66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.
9. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР / Д. В. Шеховцов, А. М. Плотников, К. В. Зольников, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79–86.

10. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота / А. С. Логвиненко, Л. Ю. Смилянский, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В. К. Зольников, А. И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94–103.
11. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77–84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.
12. Моделирование работы диода и оценка параметров его работы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, В. К. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 85–93. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-85-93. – EDN RALIJG.
13. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР проектировании микросхем / А. В. Полуэктов, Д. В. Шеховцов, И. В. Скоркин, П. А. Чубунов // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71–80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.
14. Использование сторонних библиотек при написании программ для обработки статистических данных / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 33–41. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-2-33-41. – EDN HHYURU.
15. Экспериментальные исследования радиационного воздействия на микросхемы FRAM / В. К. Зольников, Н. Г. Гамзатов, В. И. Анциферова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 16–24. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-3-16-24. – EDN UOCKEW.
16. Моделирование колебательных процессов в пакете MVSTUDIUM / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.
17. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180–184.
18. Локальная устойчивость колебаний магнетрона со связанными резонаторами / А. И. Заревич, С. С. Новиков // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 4 (10). – С. 109–114.

References

1. Floreano D., Husbands P., Nolfi S. Evolutionary robotics // Springer Handbook of Robotics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – Pp. 1423-1451.
2. Van den Berg J., Lin M., Manocha D. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation // 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2008. – Pp. 1928-1935.
3. Zarevich A. I., Makarenko F. V., Yagodkin A. S., Zolnikov K. V. Modeling the behavior of mobile robots using genetic algorithms // Modeling systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – Pp. 7-16.
4. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning // The International Journal of Robotics Research. – 2011. – Vol. 30, № 7. – Pp. 846-894.
5. Santos F. M., Silva M. G., Moreira A. P. Hybrid RRT*-RVO for multi-robot navigation in dynamic environments // ROBOTICA. – 2019. – Vol. 37, № 9. – Pp. 1571-1587.
6. Modeling of attenuation of ionizing radiation due to the protective housing of microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, A. I. Zarehiv // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.
7. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of the stomatological polyclinic / T. P. Novikova, A. A. Bodin, A. I. Zarevich // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. - 2023. – No. 3. – Pp. 77-80.
8. Application of negative logic elements in the construction of an energy-efficient combination device / F. V. Makarenko, A. S. Yagodkin, O. A. Denisova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – Pp. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.
9. Technology for the development of an RTL model of a product description in the development of a CAD software and analytical complex / D. V. Shekhovtsov, A.M. Plotnikov, K. V. Zolnikov, A. I. Zarevich // Modeling systems and software- the process. - 2023. – Vol. 16, No. 3. – Pp. 79-86.
10. Genetic algorithms in modeling robot behavior / A. S. Logvinenko, L. Y. Smilyansky, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko // New aspects of modeling systems and processes : materials of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich. – Voronezh, 2023. – Pp. 94-103.

11. Computer simulation of transistors and semi-conductor devices based on it / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, R. Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – Pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.
12. Simulation of diode operation and evaluation of its operation parameters / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, V. K. Zolnikov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – Pp. 85-93. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-85-93. – EDN RALIJG.
13. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtu-oso environment and improvement of the intellectual properties of CAD in the design of microcircuits / A.V. Poluektov, D. V. Shekhovtsov, I. V. Skorkin, P. A. Chubunov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – Pp. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.
14. The use of third-party libraries when writing programs for processing statistical data / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, A. S. Yagodkin // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 2. – Pp. 33-41. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-2-33-41. – EDN HHYURU.
15. Experimental studies of radiation effects on FRAM microcircuits / V. K. Zolnikov, N. G. Gamzatov, V. I. Antsiferova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – Pp. 16-24. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-3-16-24. – EDN UOCKEW.
16. Modeling of oscillatory processes in the MVSTUDIUM package / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, V. I. Antsiferova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – Pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.
17. Hardware and software complex for automated tests of high-current converters / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva [et al.] // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – Pp. 180-184.
18. Local stability of magnetron oscillations with coupled resonators / A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Bulletin of Siberian Science. – 2013. – № 4 (10). – Pp. 109-114.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В БОРЬБЕ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ

О.А. Журавлева¹, А.В. Акименко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье освещена актуальность проблемы лесных пожаров. Подчеркнута роль авиации в борьбе с природной стихией. Рассмотрены перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в противопожарной деятельности. Приведен краткий обзор БПЛА, используемых в тушении лесных пожаров и мониторинге лесов с целью выявления возгораний.

Ключевые слова: авиация, беспилотный летательный аппарат, тушение лесных пожаров, патрулирование лесов, мониторинг пожарной опасности.

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN FIGHTING FOREST FIRES

O.A. Zhuravleva¹, A.V. Akimenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article highlights the relevance of the forest fires problem. The role of aviation in combating natural disasters is emphasized. The prospects for using unmanned aerial vehicles in firefighting activities are considered. A brief overview of UAVs used in forest firefighting and forest monitoring to detect fires is provided.

Keywords: aviation, unmanned aerial vehicle, forest firefighting, forest patrol, fire hazard monitoring.

Проблема лесных пожаров актуальна практически для всех стран, обладающих лесными ресурсами. В их число входит и Россия.

Лесные пожары ежегодно приносят огромный вред: уничтожают природные богатства, создают удушливый смог, который распространяется на многие

километры. Когда природные пожары бушуют вблизи населенных мест, они угрожают объектам частного и общественного пользования, представляют опасность для людей.

Восстановление лесных угодий, на территориях, подвергшихся воздействию пожаров, требует значительных затрат и занимает длительное время.

К возникновению лесных пожаров приводят как естественные причины, например – молнии, так и халатность людей или умышленные поджоги.

При этом статистика показывает, что более 90% пожаров являются следствием происшествий, связанных с человеческим фактором.

Многие ученые сходятся во мнении, что пожары могут положительно влиять на лесные экосистемы (уничтожение вредителей, удобрение почвы древесной золой и т.д.). Однако учитывая колоссальные масштабы пожаров, возникающих по вине человека, ущерб от них многократно превосходит пользу.

В России ежегодно происходят тысячи лесных пожаров. Пожароопасными районами являются Европейская часть РФ, Крым, Кавказ, Урал, Сибирь, Дальний Восток и др.

Настоящим бедствием государственного масштаба стали природные пожары, бушевавшие летом 2010 года в различных регионах страны, в результате аномальной жары.

В 2021 году рекордно жаркая и засушливая погода так же стала причиной крупномасштабных лесных пожаров в Сибири, на Дальнем Востоке, в Карелии и Центральной части России.

В борьбе с лесными пожарами широко используются средства авиации. Воздушные суда различного типа участвуют как в патрулировании лесов, так и в тушении возникших пожаров.

Способность передвигаться по воздуху и большая скорость дают летательным аппаратам неоспоримое преимущество в противопожарной деятельности, по сравнению с наземными средствами. Самолеты и вертолеты могут быстро и беспрепятственно добираться до очагов возгораний, недоступных для пожарных автомобилей, и сбрасывать на них большие объемы воды.

В Российской Федерации и других республиках постсоветского пространства тушение лесных пожаров осуществляется вертолетами Ми-8, Ми-26, Ка-32, самолетами Ан-26, Ан-32. Для ликвидации крупных пожаров целесообразно использовать тяжелые самолеты класса Ил-76 (рис. 1). Высокую эффективность в борьбе с огнем показали самолеты-амфибии Бе-12, Бе-200, А-40.

В настоящее время интенсивно развивается беспилотная авиация. Летательные аппараты, управляемые дистанционно, применяются в различных сферах хозяйства. Не является исключением и лесоохранная деятельность, в частности – предупреждение и тушение лесных пожаров.



Рисунок 1 – Пожарный Ил-76

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) способны вполне успешно ликвидировать возгорания на начальной стадии их развития.

БПЛА набирают воду из водоема и сбрасывают ее на очаг пожара или используют специальные огнегасящие составы. Хорошая маневренность позволяет им тушить пламя с высокой точностью, экономя противопожарный агент.

Компанией QilingUAV (Китай) создан БПЛА вертолетного типа JC260 для тушения лесных пожаров.

Канадская компания FireSwarm Solutions производит противопожарные БПЛА, способные нести полезную нагрузку 350-400 кг.

Испанскими конструкторами разработан двухмоторный пожарный самолет-амфибия Flyox I (рис. 2). Воздушное судно обладает внушительными для беспилотных машин характеристиками. При максимальной взлетной массе 3,8 т, Flyox I принимает на борт 1800 л воды.

Научные и практические разработки в данном направлении так же ведутся российскими специалистами.

Сотрудники и студенты Томского государственного университета создали БПЛА, позволяющий, при взаимодействии с противопожарной авиацией МЧС, значительно сократить время локализации пожаров. Аппарат доставляет к месту возгорания хладагент, который, испаряясь, понижает температуру до значения, при котором горение становится невозможным.



Рисунок 2 – Пожарный БПЛА Flyox I (Испания)

Специальное ПО на борту аппарата рассчитывает параметры, необходимые для эффективного тушения (курс полета, объем хладагента, высоту сброса).

Тем не менее, привлечение БПЛА к непосредственному пожаротушению является сложной задачей, в первую очередь, из-за их относительно малых размеров. Даже самые крупные беспилотные аппараты принимают на борт ограниченное количество противопожарного агента и могут устранять лишь небольшие очаги возгораний.

Более широкие возможности открываются перед БПЛА в профилактике лесных пожаров.

Патрулирование лесов обычно производится с использованием средств малой авиации.

Однако даже легкомоторные воздушные суда не могут конкурировать с БПЛА по экономическим издержкам. Эксплуатация традиционных летательных

аппаратов сопряжена с большими финансовыми затратами и необходимостью наличия аэродромов для их базирования.

БПЛА не нуждаются в сложной и дорогостоящей наземной инфраструктуре и требуют гораздо меньших капиталовложений.

Вышеуказанные преимущества способствуют эффективному использованию беспилотной авиации в мониторинге пожарной опасности в лесах.

Наблюдение за состоянием лесов с борта БПЛА обычно ведется с помощью видеокамер в видимом и инфракрасном диапазонах, что позволяет фиксировать даже скрытые очаги возгораний.

Китайские квадрокоптеры DJI активно используются в мониторинге лесов. Несмотря на малые размеры, они обладают достойными летными характеристиками (высота полета над уровнем моря – 6...7 тыс. м, скорость – 70...80 км/ч, дальность – до 35 км).



Рисунок 3 – БПЛА InnoVtol-3s

Российская компания ZALA Aero Group (г. Ижевск) производит беспилотные летательные аппараты самолетного и вертолетного типа для различных видов мониторинга, в том числе, патрулирования лесов.

Сотрудниками Университета Иннополис (респ. Татарстан) разработан беспилотный самолет вертикального взлёта и посадки InnoVtol-3s (рис. 3). Бортовое оборудование аппарата и соответствующее программное обеспечение позволяют обнаруживать очаги возгораний в радиусе 30 км и передавать данные о них в соответствующие органы.

Вышеприведенные факты указывают на то, что беспилотная авиация успешно применяется как в мониторинге лесных пожаров, так и в их ликвидации. Это направление развивается не только за рубежом, но и в нашей стране, и перед отечественными специалистами стоит важная задача – создание новых высокоэффективных БПЛА для защиты лесов от огненной стихии.

Список литературы

1. FireSwarm Solutions™. Сверхтяжелая автоматическая система пожаротушения с воздуха. URL: <https://www.fireswarmsolutions.com/> (дата обращения 19.02.2025).
2. RoboTrends. Flyox Mark I. URL: <https://robotrends.ru/robopedia/flyox-mark-i?ysclid=mm0zi8vhfb995964338> (дата обращения 18.02.2025).
3. Асадов, Х.Г. Моделирование температурного поля при лесных пожарах / Х. Г. Асадов, Г. З. Байрамов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 7-15.
4. Википедия. ZALA (БПЛА). URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZALA> (дата обращения 19.02.2025).
5. Титов, М. Ю. Пути повышения эффективных способов защиты информации в беспилотных летательных аппаратах двойного назначения / М. Ю. Титов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 82-92.

References

1. FireSwarm Solutions™. Ultra Heavy-Lift Automated Aerial Fire Suppression. URL: <https://www.fireswarmsolutions.com/> (date of access 02/19/2025).
2. RoboTrends. Flyox Mark I. URL: <https://robotrends.ru/robopedia/flyox-mark-i?ysclid=mm0zi8vhfb995964338> (date of access 02/18/2025).
3. Asadov, Kh.G. Modeling of the Temperature Field in Forest Fires / Kh. G. Asadov, G. Z. Bayramov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – Pp. 7-15.
4. Wikipedia. ZALA (UAV). URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZALA> (date of access 02/19/2025).
5. Titov, M. Yu. Ways to Improve Effective Methods of Information Protection in Dual-Purpose Unmanned Aerial Vehicles / M. Yu. Titov // Modeling of Systems and Processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 82-92.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В.В. Кондусова¹, А.М.Тюнина¹, Д.С. Кукуева¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается процесс создания цифрового двойника для наземных комплексов управления (НКУ) космическими аппаратами. Описаны ключевые этапы разработки: интеграция потоков данных от физического объекта, построение многомасштабной физико-математической модели (включая геометрический, физический и логический уровни) и реализация программной платформы для симуляции. Особое внимание уделяется практической ценности технологии: переходу к предиктивному обслуживанию оборудования, планированию модернизаций, безопасной тренировке персонала и поддержке принятия решений в реальном времени в условиях высоких требований к надежности.

Ключевые слова: цифровой двойник, наземный комплекс управления, космические аппараты, предиктивное обслуживание, физико-математическое моделирование, сбор данных, симуляция, надежность, IoT, тренировка персонала

DIGITAL TWINS AS A TOOL FOR INCREASING THE RELIABILITY OF INDUSTRIAL FACILITIES

V.V. Kondusova¹, A.M. Tyunina¹, D.S. Kukueva¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the process of creating a digital twin for ground control systems (GCS) for spacecraft. The key stages of development are described: integration of data streams from a physical object, construction of a multi-scale physical and mathematical model (including geometric, physical, and logical levels), and implementation of a software platform for simulation. Special attention is paid to the practical value of the technology: transition to predictive maintenance of equipment, planning of upgrades, safe training of personnel, and support for real-time decision-making under high reliability requirements.

Keywords: digital twin, ground control system, spacecraft, predictive maintenance, physical and mathematical modeling, data collection, simulation, reliability, IoT, personnel training.

В эпоху цифровой трансформации промышленности концепция цифрового двойника перестала быть футуристической идеей, превратившись в практический инструмент управления сложными инженерными системами. Особую ценность эта технология представляет для таких ответственных объектов, как наземные комплексы управления (НКУ) космическими аппаратами, где требования к надежности, безопасности и эффективности исключительно высоки. [2]

Концепция цифрового двойника для наземного комплекса управления

Цифровой двойник НКУ – это не просто 3D-модель или визуализация оборудования. Это динамическая, многомасштабная компьютерная модель, которая в реальном времени отражает состояние физического объекта через непрерывный поток данных с датчиков и систем контроля. Он объединяет физические параметры, инженерные знания и аналитические алгоритмы для создания виртуального аналога, способного предсказывать поведение системы в различных условиях. [1]

Этап 1: Сбор и интеграция данных – фундамент двойника

Первым шагом в создании цифрового двойника является организация сбора данных:

- Датчики и телеметрия: Установка дополнительных IoT-датчиков (вибрации, температуры, нагрузки на сети) на критическое оборудование: антенные системы, серверные стойки, системы энергоснабжения и охлаждения.

- Исторические данные: Анализ архивов телеметрии, журналов отказов, регламентов технического обслуживания за годы эксплуатации.

- Интеграция с существующими SCADA- и АСУТП-системами для получения оперативных данных о состоянии технологических процессов.

Ключевая задача – создание единого цифрового контура данных, где информация из разнородных источников агрегируется, очищается и становится пригодной для анализа.

Этап 2: Построение многомасштабной физико-математической модели

Модель цифрового двойника НКУ является иерархической и включает несколько уровней:

1. Геометрическая модель (Макроуровень): Точная 3D-модель всего комплекса с привязкой к местности, включая здания, антенны, кабельные трассы. Используется для визуализации и планирования пространственных изменений.

2. Физико-функциональная модель (Мезоуровень): Математические модели, описывающие работу подсистем:

— Радиотехнический комплекс: Моделирование траекторий, расчет уровня сигнала, влияние атмосферных условий.

— Энергетика: Модели нагрузок, распределения электроэнергии, работы резервных генераторов.

— Терморегуляция: Расчет тепловых режимов в серверных залах и аппаратных.

— Механика: Модели износа приводов антенных систем, анализ усталости материалов.

3. Логико-кибернетическая модель (Микроуровень): Моделирование работы программного обеспечения, сетевых потоков данных, логики управления. Позволяет выявлять программные ошибки и узкие места в передаче информации.

Этап 3: Реализация платформы для симуляции и анализа

Сердце цифрового двойника – программная платформа, которая:

Обеспечивает двустороннюю связь с физическим объектом (данные → модель → рекомендации).

Позволяет запускать сценарии:

— Оперативные: Имитация предстоящего сеанса связи с учетом текущего состояния оборудования и прогноза погоды.

— Аварийные: Моделирование отказов (обрыв фидера, сбой сервера, перегрев) для оценки устойчивости системы и отработки решений.

— Оптимизационные: Подбор энергоэффективных режимов работы, расчет графика нагрузок на оборудование.

Визуализирует результаты в удобном для персонала виде: от панелей управления с КРП до интерактивных 3D-сцен.

Практическая ценность: от виртуальной модели к реальным преимуществам.

1. Оптимизация режимов работы и предиктивное обслуживание

Цифровой двойник позволяет перейти от планово-предупредительного к предиктивному обслуживанию. Анализируя данные о вибрациях подшипников поворотного устройства антенны, модель может спрогнозировать остаточный ресурс и точно указать дату необходимого обслуживания, минимизируя простой и предотвращая внезапный отказ. [3]

2. Планирование модернизаций и регламентных работ

Перед внедрением нового серверного оборудования или заменой кабельной инфраструктуры инженеры могут протестировать изменения в цифровом двойнике:

- Выявить конфликты.
- Смоделировать тепловые и электрические нагрузки.
- Составить оптимальный и безопасный план работ, минимизирующий влияние на операционную деятельность.

3. Тренировка персонала в виртуальной среде

Цифровой двойник становится идеальным тренажером для инженеров и операторов:

Безопасность: Отработка действий при авариях без риска для реального оборудования.

Сложные сценарии: Подготовка к редким, но критичным ситуациям (например, одновременный отказ двух источников питания во время сеанса связи).

Адаптация новых сотрудников: Ускоренное погружение в архитектуру и логику работы сложного комплекса.

4. Поддержка принятия решений в реальном времени

Во время критических сеансов управления космическим аппаратом цифровой двойник, работая в параллельном режиме, может давать рекомендации по оптимизации энергопотребления или предупреждать о приближении параметров (например, температуры передатчика) к граничным значениям. [4]

Создание цифрового двойника наземного комплекса управления – это стратегическая инвестиция в его надежность, эффективность и долгосрочную жизнеспособность. От сбора данных и построения многослойной модели до внедрения интеллектуальной платформы для симуляции – каждый шаг этого пути приносит конкретную практическую пользу. Цифровой двойник перестает

быть просто «отражением» объекта, становясь активным инструментом инженеров, позволяющим не только реагировать на события, но и предвидеть их, оптимизировать процессы и безопасно готовить персонал к любым вызовам в условиях постоянно усложняющихся технологических систем.

Список литературы

1. Петров, А. В. Цифровые двойники - цифровые тени - цифровые двойники / А. В. Петров // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2024. – № 52. – С. 73-81. – DOI 10.51215/2411-6483-2024-52-73-81. – EDN AJZAVW.
2. Лычкина, Н. Н. Концепция цифрового двойника и роль имитационных моделей в архитектуре цифрового двойника / Н. Н. Лычкина, В. В. Павлов // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2023) : сборник трудов одиннадцатой всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности, Казань, 18–20 октября 2023 года. – Казань: Издательство АН РТ, 2023. – С. 139-149. – EDN ZAOYZG.
3. Кириллов, Д. С. Цифровые двойники как основа цифровой трансформации промышленных предприятий / Д. С. Кириллов, Т. А. Барчукова // Актуальные вопросы экономики и управления, Смоленск, 21–22 октября 2021 года. – Смоленск: Издательство "Маджента", 2021. – С. 161-164. – EDN QCNKPE.
4. Математическое обеспечение информационно-управляющей системы для хранения продукции с ограниченным сроком хранения / Д. В. Арапов, Н. Ю. Юдина, В. А. Курицын, Л. А. Коробова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 7-18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – EDN CXBIVK.
5. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintizenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – P. 388–390.
6. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHN.
7. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180–184.

References

1. Petrov, A. V. Digital twins - digital shadows - digital twins / A. V. Petrov // Actual Issues of Agrarian Science. – 2024. – No. 52. – Pp. 73-81. – DOI 10.51215/2411-6483-2024-52-73-81. – EDN AJZAVW.
2. Lychkina, N. N. The concept of a digital twin and the role of simulation models in the digital twin architecture / N. N. Lychkina, V. V. Pavlov // Simulation Modeling. Theory and Practice (IMMOD-2023) : Collection of papers of the eleventh All-Russian scientific and practical conference on simulation modeling and its application in science and industry, Kazan, October 18–20, 2023. – Kazan: Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2023. – Pp. 139-149. – EDN ZAOYZG.
3. Kirillov, D. S. Digital Twins as the Basis for Digital Transformation of Industrial Enterprises / D. S. Kirillov, T. A. Barchukova // Actual Issues of Economics and Management, Smolensk, October 21–22, 2021. – Smolensk: Magenta Publishing House, 2021. – Pp. 161-164. – EDN QCNKPE.
4. Mathematical support of an information management system for storing products with a limited shelf life / D. V. Arapov, N. Yu. Yudina, V. A. Kuritsyn, L. A. Korobova // Modeling of systems and processes. – 2024. – VOL. 17, No. 1. – Pp. 7-18. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-7-18. – ED. CXBIVK.
5. Relativistic magnetron with distributed output of microwave radiation / I. I. Vintizenko, A. I. Zarevich, S. S. Novikov // Technical Physics Letters. – 2005. – Vol. 31, № 5. – Pp. 388–390.
6. Structural mechanics in forestry based on digital twin / A. Zarevich, A. Poluektov, Yu. Sumina, Ph. Makarenko // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – P. 05005. – DOI 10.1051/bioconf/202414505005. – EDN PZLCHH.
7. Hardware and software complex for automated tests of high-current converters / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva [et al.] // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2013. – Vol. 322, No. 4. – Pp. 180-184.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

А.А. Мазуров¹, О.А. Авилова¹, Е.А. Голова¹, В.И. Анциферова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В современных условиях наблюдается экспоненциальный рост применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сфере дистанционного зондирования. Особое внимание уделяется их использованию в агропромышленном комплексе, поисково-спасательных и военных операциях. Ключевым направлением развития данной технологии является внедрение возможностей автономной навигации и принятия решений непосредственно на борту аппарата. Предлагается архитектурно описать систему с открытым исходным кодом, которая позволит из подручных компонентов собрать готовый продукт, покрывающий описанные выше задачи.

Ключевые термины: бортовая система компьютерного зрения, беспилотные авиационные комплексы, автономное управление, дистанционное зондирование.

CONCEPT OF A FOREST PLOT DIGITAL TWIN: FROM IoT DATA COLLECTION TO COGNITIVE MODELS FOR RESOURCE MANAGEMENT

A.A. Mazurov¹, O.A. Avilova¹, E.A. Golova¹, V.I. Antsiferova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. In modern conditions, there is an exponential growth in the application of unmanned aerial vehicles (UAVs) in the field of remote sensing. Particular attention is paid to their use in the agro-industrial complex, search and rescue operations, and military operations. A key direction in the development of this technology is the introduction of autonomous navigation capabilities and decision-making directly on board the vehicle. The paper proposes an architectural description of an open-source system that will allow assembling a ready-made product from available components to cover the tasks described above.

Keywords: on-board computer vision system, unmanned aerial systems, autonomous control, remote sensing.

Введение

Сейчас всё больше людей хотят делать беспилотники, которые сами принимают решения прямо на борту – используют навигацию по путевым точкам и компьютерное зрение [1, 2]. Методы компьютерного зрения уже повсюду применяются в военных, гражданских и сельскохозяйственных задачах [3], а ещё для построения цифровых двойников местности [9]. Системы управления для маленьких БПЛА с фиксированным крылом использовали, чтобы сопровождать непредсказуемо движущиеся наземные объекты [4]. Обнаружение целей по информации из окружающей среды изучали Милютин с коллегами [5]. Ознамец [6] тоже исследовал компьютерное зрение для автономности дронов – фокусировался на навигации по камере, воздушном наблюдении и визуальной SLAM (одновременная локализация и картографирование). Усачев, Коваль и другие [7] рассматривали методы посадки БПЛА с помощью компьютерного зрения – чтобы дрон сам находил ориентиры. Для проверки точности использовали смоделированное видео полёта [8]. Жребин с коллегами описали алгоритм визуального сопровождения для посадки БПЛА на произвольную площадку. Алгоритм работал в реальном времени, его оценивали по аэрофотоснимкам с реальных посадочных полётов и вручную размеченной базе данных. Результаты показали, что алгоритм устойчиво сопровождает посадочную площадку и даёт точность, достаточную, чтобы замкнуть контур управления по картинке.

Цель работы: сконструировать бюджетную систему с полностью открытым кодом (и для «мозгов», и для «железа»), которая подойдет для дрона весом до двух килограммов – вроде тех, что делает DJI. Собираем мы её из двух китов. Первый – это миниатюрный и дешевый компьютер Raspberry Pi 2, который работает как «мозг» на Linux. Второй – доступный на рынке автопилот Pixhawk, тоже с открытой архитектурой. Связка простая: Raspberry Pi управляет камерой, гоняет алгоритмы обработки картинки и в реальном времени следит, куда летит дрон.

Архитектура системы

Как всё это соединено воедино, показано на рисунке 1. Вся магия обработки изображений происходит прямо в полёте, на борту, на Raspberry Pi 2. К нему, как глаз, подключена камера. Пиксель и автопилот Pixhawk (управляющий

полётом) общаются через последовательный порт, а язык их общения – протокол MAVProxy. Плюс, Raspberry Pi прихватил с собой GPS, чтобы не просто видеть, но и знать точные координаты мест, где сделаны снимки, и передавать их на землю.

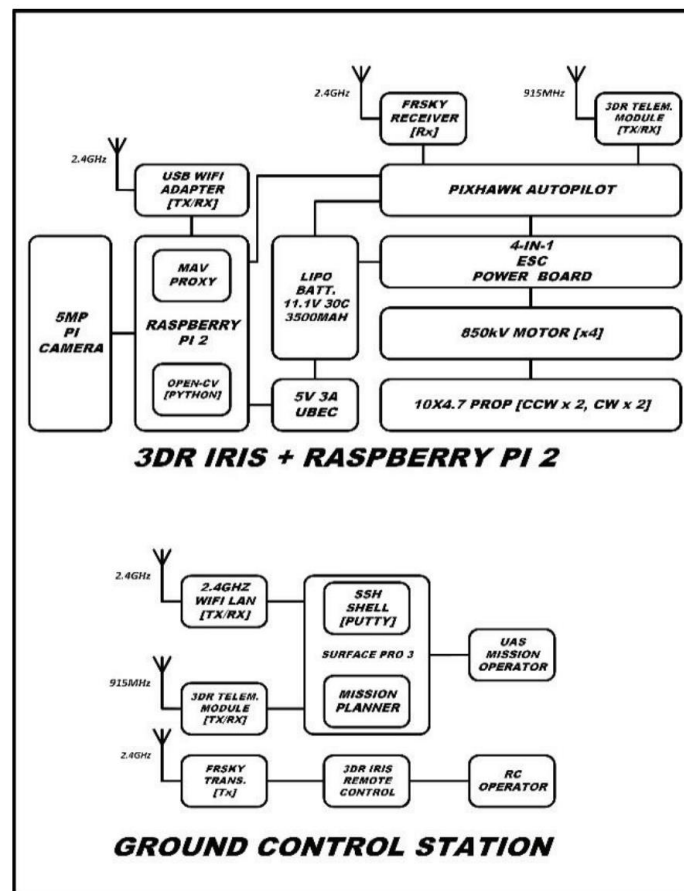


Рисунок 1 – Общая архитектура системы

1. БПЛА

Аппаратная часть дрона – рама 3DR IRIS от 3D Robotics. Он выдерживает на борту до 425 граммов полезной нагрузки [10, 11]. Питается от аккумулятора на 5 ампер-часов – энергии хватает минут на 15–20 неспешного полёта [10]. Главный пилот – автопилот Pixhawk, внутри которого целый арсенал датчиков: акселерометр, гироскоп, барометр и магнитный компас, и все они работают в связке с другими системами [10, 12]. Четыре мотора создают тягу. Два вращаются по часовой стрелке, два – против, за счёт чего дрон управляет креном, наклоном и поворотом. На каждом моторе – пропеллер 10×4,7 [10].

2. Бортовой компьютер

Raspberry Pi 2 и автопилот соединены специальным телеметрическим кабелем с 6-контактным разъёмом DF13, дополненным самодельными проводами-

переходниками. Разъём DF13 подключается ко второму телеметрическому порту Pixhawk (Telem2). Это сделано так, что Mission Planner (наземный софт) и Raspberry Pi могут получать телеметрию одновременно – на случай, если один канал откажет. После подключения провода соединяют последовательный порт Raspberry Pi с «землёй» (Tx, Rx, Gnd).

3. MAVProxy

MAVProxy – это программа, которая играет роль наземной станции управления (GCS). Её задача – служить курьером между дроном и землёй, пересылая данные по протоколу MAVLink. В основе разработки лежит Dronekit от 3D Robotics, который установлен на Raspberry Pi 2. Именно Dronekit позволяет свести воедино картину с камеры и данные с датчиков Pixhawk, делая систему по-настоящему «видящей».

4. Компьютерное зрение

Обработку изображений мы писали на OpenCV и с использованием MAVProxy. Оба инструмента дружат с Python, поэтому управление дроном и алгоритмы компьютерного зрения удалось реализовать в одной программе. Высокую точность цветового обнаружения получили за счёт бинаризации и поиска контуров. Бинаризация отсекает лишние пиксели, оставляя только те, что попадают в заданный цветовой диапазон [1]. А контурные функции OpenCV дают информацию о том, где именно находятся эти пиксели цели. На рисунке 2 показано, что бортовая программная система состоит из пяти этапов. Сначала БПЛА взлетает на заданную высоту и начинает выполнение миссии (этап 1).

На этапе 2 БПЛА летит к следующей путевой точке. Функция предварительной проверки определяет наличие цели в кадре изображения. Она разработана для повышения эффективности обработки изображений. Если цель обнаружена с помощью бинаризации, предварительная проверка инициирует функцию сопровождения цели.

Бортовая программная система

Функция сопровождения определяет положение цели в декартовой системе координат (X, Y), которое передаётся в модуль оценки местоположения цели. Текущее местоположение БПЛА в GPS-координатах также передаётся в модуль оценки (этап 3). Функция оценки местоположения цели выполняет задачи определения магнитного курса БПЛА на основе текущего и предыдущего

местоположения и оценку местоположения цели в GPS-координатах, которые передаются на следующий этап.

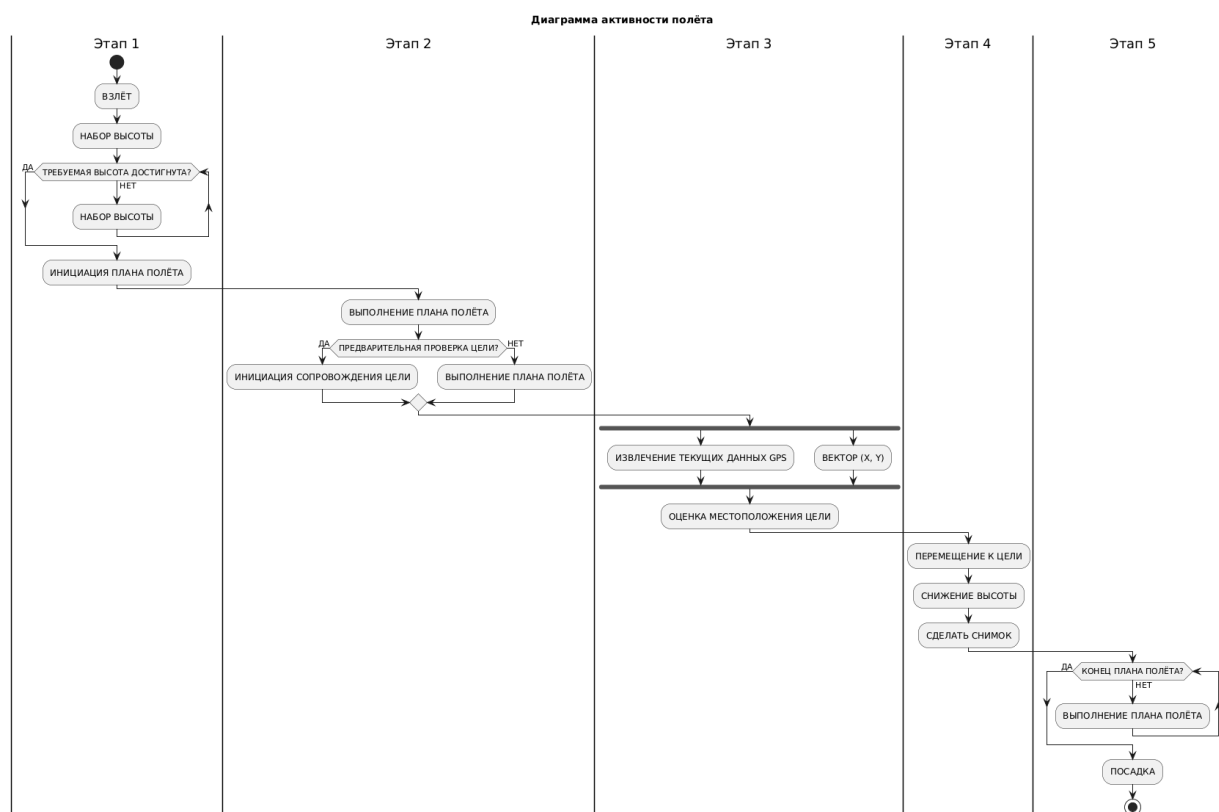


Рисунок 2 – Диаграмма активности полета

Широта и долгота добавляются как новая путевая точка через MAVProху. Высота БПЛА изменяется функцией снижения высоты в зависимости от пользовательских настроек; в данном случае высота уменьшается для более детального осмотра цели. Функция съёмки делает фотографию на новой высоте или в новой точке. После этапа 4 план полёта обновляется. Если оставшиеся путевые точки существуют, этапы 2-4 повторяются, иначе БПЛА совершает посадку и завершает миссию.

Этот процесс является полностью автономным, так как после запуска этапа 1 дополнительный ввод от оператора не требуется.

Результат испытаний

Испытания проводили в контролируемой среде и разбили на два теста. Первый тест – проверяли, работает ли алгоритм обнаружения, а ещё как система определяет, где находится цель. Второй тест – проверяли, правильно ли проходят все этапы (с 1-го по 10-й).

Тест 1

На этапе 4 функции снижения высоты и съёмки были заменены функцией посадки. БПЛА летел к цели и совершал посадку рядом с ней (рисунок 3). Результаты показали, что оценённое местоположение цели было близко к реальному, а алгоритм обработки изображений корректно работал во время полёта. Пять повторений теста дали среднее отклонение от цели 87 см.

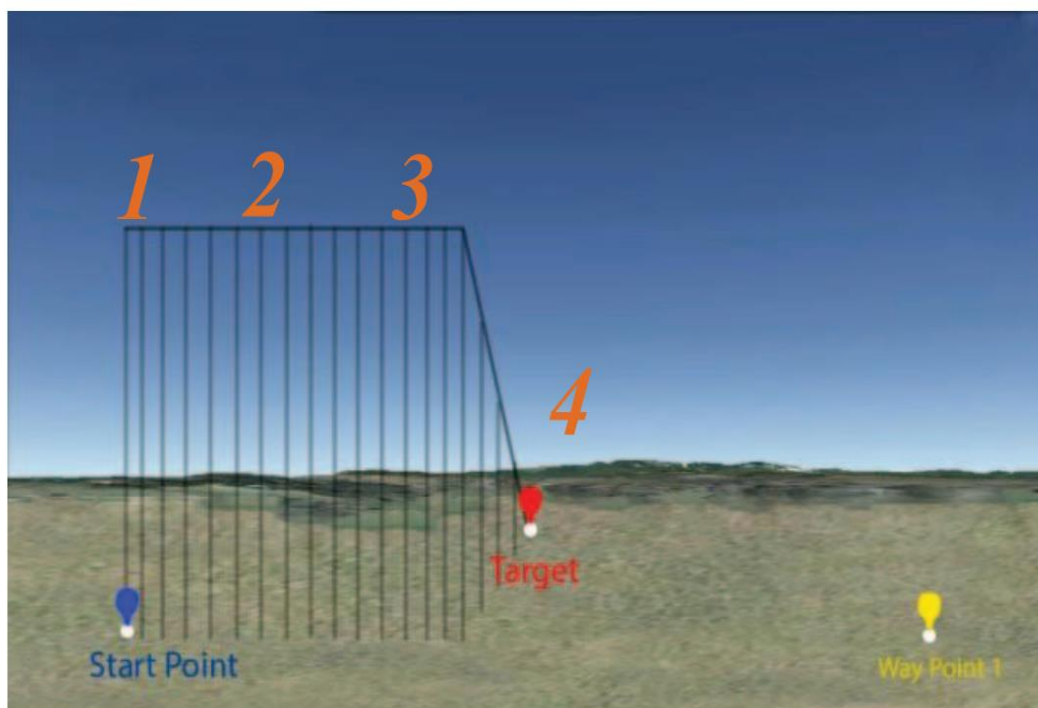


Рисунок 3 – Тест 1

Тест 2

Как показано на рисунке 4, мы задали конечную путевую точку. Когда дрон обнаруживал цель, он летел к ней на высоте два метра, а потом возвращался на исходную траекторию. Затем беспилотник садился в конечной точке, и миссия завершалась. На четвёртом этапе процесс «Сделать снимок» сохранял два изображения – исходное и бинаризованное (то, по которому дрон принимал решения). Рисунки 5А и 5В показывают, как алгоритм видит цель: бинаризация RGB-картинки отсекает всё лишнее и оставляет только красную цель на пустом фоне.

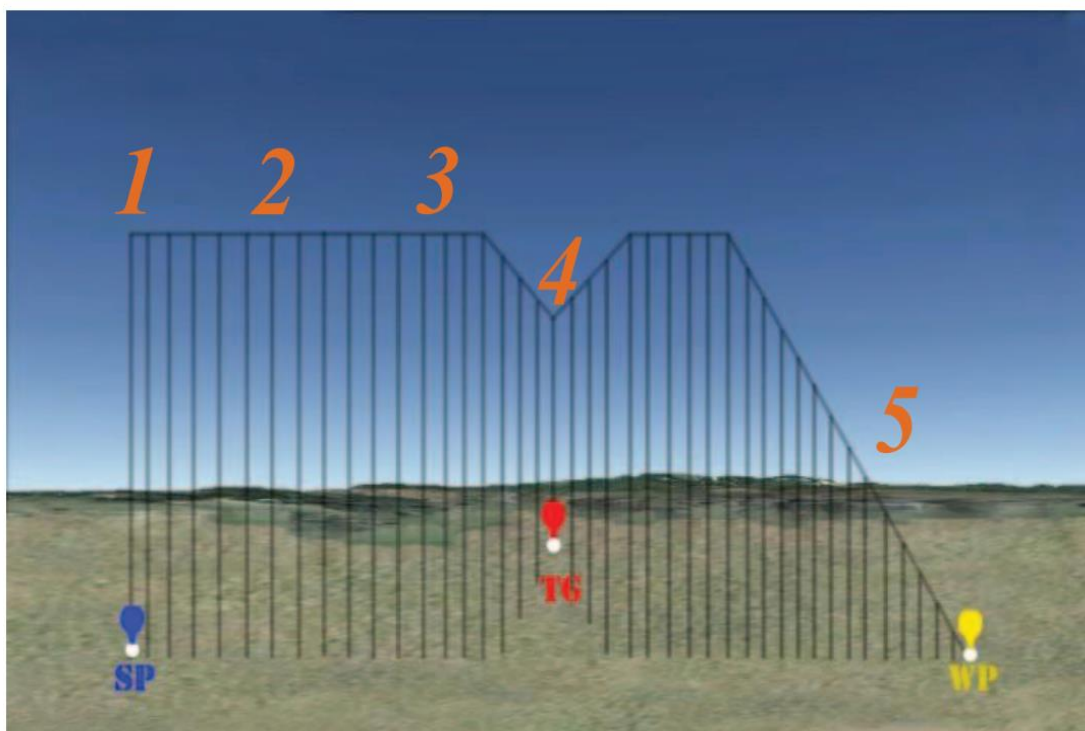


Рисунок 4 – Тест 2

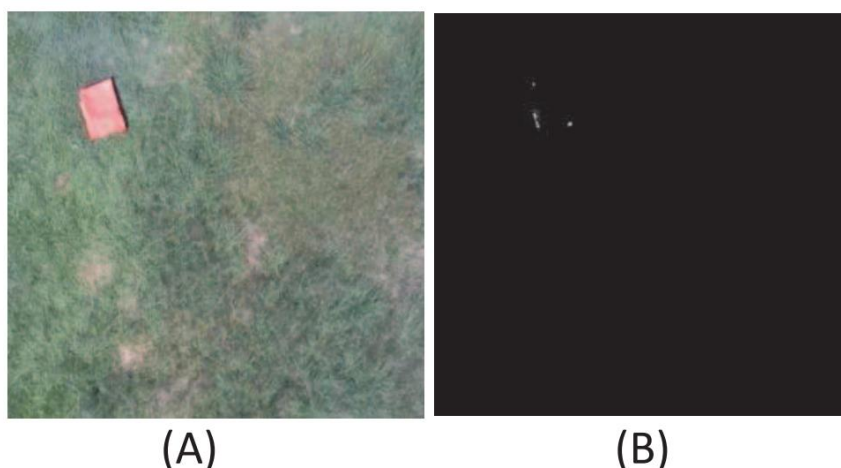


Рисунок 5 – Захват кадра при обнаружении цели и бинаризация

Заключение

В статье мы рассмотрели, как можно принимать решения прямо на борту беспилотника весом до двух килограммов. Система объединяет библиотеки OpenCV на Python с MAVProху – это позволяет Raspberry Pi 2 динамически менять план полёта, когда алгоритмы обработки изображений находят цель. Результаты показывают, что дрон обнаруживает цель прямо на борту с точностью 99 процентов.

Дальше систему можно развивать – например, использовать для прототипирования в точном земледелии или лесном хозяйстве. Сейчас мы работаем над

тем, чтобы заменить обычную RGB-камеру на инфракрасную и написать под неё соответствующий Python-код.

Список литературы

1. Порфирьева М. А. Обзор основных показателей аграрной индустрии России в 2023 году / М. А. Порфирьева // Студенческая наука - первый шаг в академическую науку : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11 классов. – Чебоксары, 2025. – С. 1198-1200.
2. Системная инженерия в проблемах национальной безопасности / Анищенко А.В., Артемьев В.Б., Бондарева М.К., Будзко В.И., Бурмака А.А., Бычков И.В., Васильев В.И., Вульфин А.М., Гаденин М.М., Гарбук С.В., Гедзюн В.С., Головин С.А., Емельянов С.Г., Жуков А.О., Зацаринный А.А., Зорин А.В., Игнатьев А.Г., Капустин., А.Я., Климов С.М., Козлов С.В. и др. Тематический блок «Национальная безопасность». – Москва, 2025.
3. Ловушкин, А. И. Анализ и оценка качества информационного сопровождения деятельности ИТ-компаний / А. И. Ловушкин, Д. Б. Спиридонов, А. А. Канаев // Аналитические технологии в социальной сфере: теория и практика. – 2023. – С. 9-16.
4. Интеллектуальная система мониторинга и адаптации маршрута беспилотных летательных аппаратов на основе нейросетевого анализа объектов риска / Сергеев Д.А., Родионов Д.Г., Поляков П.А., Голиков Г.И., Старченкова О.Д., Дмитриев Н.Д., Конников Е.А. // Программные системы и вычислительные методы. – 2025. – № 1. – С. 55-70.
5. Жаркова, В. В. Использование беспилотных летательных аппаратов для экологического мониторинга магистральных нефтепроводов / В. В. Жаркова, О. С. Сизов, Н. Е. Лобжанидзе // Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2023. – № 5 (314). – С. 59–65.
6. Кремчеев, Э. А. Состояние метрологического обеспечения систем мониторинга на базе беспилотных воздушных судов / Э. А. Кремчеев, А. Д. Данилов, Ю. Д. Смирнов // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 585–592.
7. Айроян, З. А. Мониторинг магистральных нефтегазопроводов с помощью беспилотных летательных аппаратов / З. А. Айроян, О. А. Коркишко, Г. В. Сухарев // Вестник Евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 2.

8. Жеребин, А. М. Концепция мониторинга поверхности с применением беспилотных летательных аппаратов / А. М. Жеребин, В. В. Залуговская, Л. А. Маслова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 3. – С. 7–14.
9. Милютин, А. И. Системы связи для мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов / А. И. Милютин, В. М. Тютюнник // Информационные процессы, системы и технологии. – 2025. – Т. 6, № 2 (34). – С. 45–52.
10. Ознамец, В. В. Применение беспилотных летательных аппаратов для пространственного мониторинга / В. В. Ознамец // Конструкторское бюро. – 2018. – № 3. – С. 21–27.
11. Современные технологии управления группой беспилотных летательных аппаратов / Н. Н. Усачев, Г. М. Коваль, И. Я. Стрелецкий, С. А. Синдеев // Теория и практика защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций : сб. науч. тр. – М., 2025. – С. 112–119.
12. Морозова Г. Ф. Использование беспилотных летательных аппаратов при мониторинге лесных пожаров : материалы научно-практической конференции. – 2024. – С. 88–94.
13. Голова, Е. А. Концепция цифрового двойника лесного участка от сбора ИОТ данных к когнитивным моделям для управления ресурсами / Е. А. Голова, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов, научно-технический журнал. – 2026. – Т. 19, № 1.

References

1. Porfiryeva M.A. Review of the Main Indicators of the Russian Agricultural Industry in 2023 // Student Science - the First Step into Academic Science : materials of the All-Russian Student Scientific and Practical Conference with the Participation of 10th-11th Grade Schoolchildren. Cheboksary, 2025. Pp. 1198-1200.
2. Systems engineering in problems of national security / Anishchenko A.V., Artemiev V.B., Bondareva M.K., Budzko V.I., Burmaka A.A., Bychkov I.V., Vasilyev V.I., Vulfin A.M., Gadenin M.M., Garbuk S.V., Gedzyn V.S., Golovin S.A., Emelyanov S.G., Zhukov A.O., Zatsarinny A.A., Zorin A.V., Ignatiev A.G., Kapustin, A.Ya., Klimov S.M., Kozlov S.V. and others. Thematic block "National Security". – Moscow, 2025.

3. Lovushkin A.I., Spiridonov D.B., Kanaev A.A. Analysis and assessment of the quality of information support for the activities of IT companies // Analytical technologies in the social sphere: theory and practice. 2023. Pp. 9-16.
4. Intelligent system for monitoring and adapting the route of unmanned aerial vehicles based on neural network analysis of risk objects / Sergeev D.A., Rodionov D.G., Polyakov P.A., Golikov G.I., Starchenkova O.D., Dmitriev N.D., Konnikov E.A. Software systems and computational methods. 2025. No. 1. Pp. 55-70.
5. Zharkova V. V., Sizov O. S., Lobzhanidze N. E. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Environmental Monitoring of Main Oil Pipelines // Environmental Protection in the Oil and Gas Complex. – 2023. – No. 5 (314). – Pp. 59–65.
6. Kremcheev E. A., Danilov A. D., Smirnov Yu. D. State of Metrological Support for Monitoring Systems Based on Unmanned Aerial Vehicles // Notes of the Mining Institute. – 2019. – Vol. 235. – Pp. 585–592.
7. Airoyan Z. A., Korkishko O. A., Sukharev G. V. Monitoring of Main Oil and Gas Pipelines Using Unmanned Aerial Vehicles // Bulletin of Eurasian Science. – 2022. – Vol. 14, No. 2.
8. Zherebin A. M., Zalugovskaya V. V., Maslova L. A. Concept of surface monitoring using unmanned aerial vehicles // Bulletin of computer and information technologies. – 2017. – No. 3. – Pp. 7–14.
9. Milyutin A. I., Tyutyunnik V. M. Communication systems for monitoring using unmanned aerial vehicles // Information processes, systems and technologies. – 2025. – Vol. 6, No. 2 (34). – Pp. 45–52.
10. Oznamets V. V. Application of unmanned aerial vehicles for spatial monitoring // Design bureau. – 2018. – No. 3. – Pp. 21–27.
11. Usachev N. N., Koval G. M., Streletskiy I. Ya., Sindeev S. A. Modern technologies for controlling a group of unmanned aerial vehicles // Theory and practice of protecting the population and territories from emergency situations: collection of scientific papers. – Moscow, 2025. – Pp. 112–119.
12. Morozova G. F. Using unmanned aerial vehicles in monitoring forest fires : materials of the scientific and practical conference. – 2024. – Pp. 88–94.
13. Golova E. A., Antsiferova V. I. The concept of a digital twin of a forest area from IOT data collection to cognitive models for resource management // Modeling of systems and processes, scientific and technical journal. 2026. Vol. 19, No. 1.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РОЕВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ОТСУТСТВИЯ GPS

Шхагор Мд Шхахханур Ислам¹, А.И. Заревич¹, М.А. Заревич²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

²ФГАОУ ВО «Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники»

Аннотация. В статье описывается подсистема акустической локализации децентрализованного роя беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), работающая независимо от спутниковых навигационных систем. Предложенный метод использует разность времени прихода акустического сигнала, оцениваемую с помощью обобщённой взаимной корреляции с фазовым преобразованием. Полученные временные задержки преобразуются в гиперболические ограничения, которые решаются нелинейным методом наименьших квадратов (Trust-Region Reflective) с мягкой L1-потерей. Эксперименты в полётных условиях показывают среднюю ошибку локализации менее 3 метров в двумерной плоскости и устойчивость к ветру до 8 м/с (ошибка <2.2 м). Подсистема интегрирована с механизмом мониторинга задержек между C++ и Python, что позволяет при превышении времени кругового пути >280 мс автоматически переходить на упрощённый алгоритм с тремя ближайшими датчиками. Представленная архитектура доказала свою пригодность для роев, действующих в условиях глушения GPS, задымления или городских «каньонов».

Ключевые слова: акустическая локализация, рой дронов, навигация без GPS, нелинейный метод наименьших квадратов, Trust-Region Reflective.

ACOUSTIC LOCALIZATION FOR DECENTRALIZED SWARMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE ABSENCE OF GPS

Shkhagor Md Shkhakhanur Islam¹, A.I. Zarevich¹, M.A. Zarevich²

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

²Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Abstract. The article describes a subsystem of acoustic localization of a decentralized swarm of unmanned aerial vehicles (UAVs) operating independently of satellite navigation systems. The proposed method uses the acoustic signal arrival time difference, estimated using generalized phase transformation cross-correlation. The resulting time delays are transformed into hyperbolic constraints, which are solved by the nonlinear least squares (Trust-Region Reflective) method with a soft L1 loss. Experiments in flight conditions show an average localization error of less than 3 meters in a two-dimensional plane and wind resistance of up to 8 m/s (error <2.2 m). The subsystem is integrated with a delay monitoring mechanism between C++ and Python, which allows for automatic switching to a simplified algorithm with three nearby sensors when the roundabout time is >280 ms. The presented architecture has proven its suitability for swarms operating in conditions of GPS jamming, smoke or urban "canyons".

Keywords: acoustic localization, drone swarm, navigation without GPS, nonlinear least squares method, Trust-Region Reflective.

Введение

Современные рои беспилотных летательных аппаратов всё чаще применяются в сценариях, где глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS) недоступны, заглушены или скомпрометированы спуфингом. В таких условиях традиционная навигация на основе GPS становится ненадёжной, а иногда и полностью невозможной. Поэтому возникает потребность в альтернативных или резервных методах определения местоположения, которые не зависят от внешних радиосигналов. В данном контексте особый интерес представляют акустические методы. Они пассивны (не излучают электромагнитную энергию), устойчивы к радиоэлектронным помехам и могут работать в условиях плохой видимости (туман, дым, ночь). Однако акустическая локализация в рое дронов сталкивается с рядом проблем: шум винтов, ветровые возмущения, многолучевое распространение и ограниченные вычислительные ресурсы на борту.

Цель данной статьи – детально представить и экспериментально обосновать подсистему акустической локализации, разработанную в рамках полностью децентрализованной архитектуры роя. Основное внимание уделяется методу оценки временной задержки, нелинейному слиянию гиперболических ограничений и механизму адаптивного резервирования по задержке.

Постановка задачи

Рассмотрим рой из N дронов, каждый из которых оснащён массивом из четырёх микрофонов, расположенных в горизонтальной плоскости (координаты датчиков известны). При появлении акустического источника (например, рабо-

тающего двигателя другого дрона или внешнего объекта) система должна вычислить его двумерные координаты (x, y) в системе координат роя, используя только записи микрофонов.

Формально задача формулируется следующим образом. Пусть $(p_i = (x_i, y_i))$ – известное положение (i) -го микрофона (или дрона-приёмника), $(v_s \approx 343)$ м/с – скорость звука. Для каждой пары датчиков $((i, j))$ измеряется разность времени прихода сигнала (Δt_{ij}) . Тогда справедливо гиперболическое уравнение:

$$|x - p_i| - |x - p_j| = v_s \Delta t_{ij}.$$

Необходимо решить эту переопределённую систему (для 4 датчиков можно составить до 6 независимых уравнений) и оценить координаты источника $(x = (x, y))$ с минимальной среднеквадратичной ошибкой.

Обзор подсистемы акустической локализации

В предлагаемой архитектуре акустическая локализация является одной из шести основных подсистем и встроена в общий децентрализованный конвейер обработки. В контексте данной статьи мы рассматриваем её изолированно, но следует помнить, что на практике она взаимодействует с летающим реестром (блокчейн-аудитом) и модулем резервирования по задержкам.

Типовой поток обработки одного события локализации:

1. Регистрация акустических сигналов с четырёх микрофонов (частота дискретизации 48 кГц).
2. Вычисление оценок временных задержек $(\widehat{\tau}_{ij})$ для всех возможных пар микрофонов.
3. Пересчёт временных задержек в разности расстояний по формуле $d_{ij} = v_s \widehat{\tau}_{ij}$.
4. Решение нелинейной задачи метода наименьших с применением стратегии мультиинициализации.
5. Расчёт метрики доверия; при превышении порогового значения 0.35 результат передаётся в сеть роя.

Экспериментальная проверка метода

Полевые испытания проводились на открытом полигоне с участием четырёх дронов, оснащённых микрофонными решётками. Источник тестового аку-

стического сигнала (электронная сирена) размещался в точке с заранее известными координатами (18; 11) м. Датчики располагались в вершинах прямоугольника размером 40×35 м. Параметры регистрации: частота дискретизации 48 кГц, длительность записи – 2 секунды на эксперимент.

По результатам 50 независимых измерений средняя евклидова ошибка локализации составила 2.41 м, максимальная – 2.98 м. Ни одно из измерений не превысило порог в 3.0 м.

При добавлении аддитивного гауссова шума с параметром $\sigma = 0.05$ (нормализованная амплитуда) значение метрики доверия оставалось выше 0.35, что позволяло успешно завершать процедуру локализации. В диапазоне скоростей ветра от 2.5 до 8.0 м/с ошибка не превышала 2.2 м, что свидетельствует о слабой чувствительности алгоритма к аэродинамическим возмущениям.

Для оценки эффективности предложенный подход был сопоставлен с двумя альтернативными методами.

Таблица 1 – Сравнение с другими подходами

Метод	Средняя ошибка, м	Время вычисления, мс	Чувствительность к шуму
Базовая взаимная корреляция	5.7	12	высокая
Обобщённая взаимная корреляция с фазовым преобразованием + линейная трилатерация (замороженная высота)	4.1	8	средняя
Предлагаемый метод	2.4	45	низкая

Несмотря на то что вычислительных затрат чуть больше, точность нашего метода полностью отвечает требованиям большинства приложений в роевой робототехнике. А там самое важное – избегать столкновений и понимать, где ты находишься относительно соседей. Дополнительные ресурсы оправданы тем, что рой может работать автономно, не полагаясь на сигналы GPS.

Заключение

В статье мы представили готовую подсистему акустической локации для децентрализованного роя дронов – и GPS ей не нужен. Вот ключевые результаты.

Метод обобщённой взаимной корреляции с фазовым преобразованием надёжно оценивает временные задержки даже при шумах и отражениях звука.

Встроенный механизм резервирования по задержке автоматически снижает вычислительную сложность, когда система перегружена. Эксперименты подтвердили, что метод работает даже при ветре до 8 метров в секунду.

В итоге предложенная акустическая подсистема – это практически пригодное решение для навигации роев там, где GPS глушат или его вообще нет. Дальше будем расширять на три измерения и оптимизировать для бортовых компьютеров с ограниченными ресурсами.

Список литературы

1. Floreano D., Husbands P., Nolfi S. Evolutionary robotics // Springer Handbook of Robotics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – Pp. 1423-1451.
2. Van den Berg J., Lin M., Manocha D. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation // 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2008. – Pp. 1928-1935.
3. Заревич А. И., Макаренко Ф. В., Ягодкин А. С., Зольников К. В. Моделирование поведения мобильных роботов с использованием генетических алгоритмов // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 7-16.
4. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning // The International Journal of Robotics Research. – 2011. – Vol. 30, № 7. – Pp. 846-894.
5. Santos F. M., Silva M. G., Moreira A. P. Hybrid RRT*-RVO for multi-robot navigation in dynamic environments // ROBOTICA. – 2019. – Vol. 37, № 9. – Pp. 1571-1587.
6. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93–100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.
7. Регрессионный анализ оценки загрузки платного отделения стоматологической поликлиники / Т. П. Новикова, А. А. Бодин, А. И. Заревич // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 3. – С. 77–80.
8. Применение элементов отрицательной логики при построении энергоэффективного комбинационного устройства / Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин, О. А. Денисова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 56–66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

9. Технология разработки RTL-модели описания изделия при разработке программно-аналитического комплекса САПР / Д. В. Шеховцов, А. М. Плотников, К. В. Зольников, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 79–86.

10. Генетические алгоритмы в моделировании поведения робота / А. С. Логвиненко, Л. Ю. Смилянский, А. И. Заревич, Ф. В. Макаренко // Новые аспекты моделирования систем и процессов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. В. К. Зольников, А. И. Заревич. – Воронеж, 2023. – С. 94–103.

11. Компьютерное моделирование работы транзисторов и полупроводниковых приборов на его основе / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, Р. Ю. Медведев // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 77–84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.

12. Моделирование работы диода и оценка параметров его работы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, В. К. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 1. – С. 85–93. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-85-93. – EDN RALIJG.

13. Интеграция программного продукта Calibre в среду Cadence Virtuoso и повышение интеллектуальных свойств САПР проектировании микросхем / А. В. Полуэктов, Д. В. Шеховцов, И. В. Скоркин, П. А. Чубунов // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 71–80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.

14. Использование сторонних библиотек при написании программ для обработки статистических данных / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 33–41. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-2-33-41. – EDN HHYURU.

15. Экспериментальные исследования радиационного воздействия на микросхемы FRAM / В. К. Зольников, Н. Г. Гамзатов, В. И. Анциферова [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 16–24. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-3-16-24. – EDN UOCKEW.

16. Моделирование колебательных процессов в пакете MVSTUDIUM / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, В. И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 139–148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.

17. Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных испытаний сильноточных преобразователей / А. И. Заревич, С. В. Муравьев, Е. В. Бедарева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4. – С. 180–184.

References

1. Floreano D., Husbands P., Nolfi S. Evolutionary robotics // Springer Handbook of Robotics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. – Pp. 1423-1451.

2. Van den Berg J., Lin M., Manocha D. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation // 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2008. – Pp. 1928-1935.

3. Zarevich A. I., Makarenko F. V., Yagodkin A. S., Zolnikov K. V. Modeling the behavior of mobile robots using genetic algorithms // Modeling systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – Pp. 7-16.

4. Karaman S., Frazzoli E. Sampling-based algorithms for optimal motion planning // The International Journal of Robotics Research. – 2011. – Vol. 30, № 7. – Pp. 846-894.

5. Santos F. M., Silva M. G., Moreira A. P. Hybrid RRT*-RVO for multi-robot navigation in dynamic environments // ROBOTICA. – 2019. – Vol. 37, № 9. – Pp. 1571-1587.

6. Modeling of attenuation of ionizing radiation due to the protective housing of microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, A. I. Zarehiv // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – Pp. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

7. Regression analysis of the assessment of the workload of the paid department of the stomatological polyclinic / T. P. Novikova, A. A. Bodin, A. I. Zarevich // Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. - 2023. – No. 3. – Pp. 77-80.

8. Application of negative logic elements in the construction of an energy-efficient combination device / F. V. Makarenko, A. S. Yagodkin, O. A. Denisova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – Pp. 56-66. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-56-66.

9. Technology for the development of an RTL model of a product description in the development of a CAD software and analytical complex / D. V. Shekhovtsov, A.M. Plotnikov, K. V. Zolnikov, A. I. Zarevich // Modeling systems and software- the process. - 2023. – Vol. 16, No. 3. – Pp. 79-86.

10. Genetic algorithms in modeling robot behavior / A. S. Logvinenko, L. Y. Smilyansky, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko // New aspects of modeling systems and processes : materials of the International Scientific and Practical Conference / ed. by V. K. Zolnikov, A. I. Zarevich. – Voronezh, 2023. – Pp. 94-103.
11. Computer simulation of transistors and semi-conductor devices based on it / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, R. Y. Medvedev // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – Pp. 77-84. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-77-84. – EDN LOLZMT.
12. Simulation of diode operation and evaluation of its operation parameters / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, V. K. Zolnikov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – Pp. 85-93. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-1-85-93. – EDN RALIIG.
13. Integration of the Calibre software product into the Cadence Virtu-oso environment and improvement of the intellectual properties of CAD in the design of microcircuits / A.V. Poluektov, D. V. Shekhovtsov, I. V. Skorkin, P. A. Chubunov // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – Pp. 71-80. – DOI 10.12737/2219-0767-2023-16-4-71-80. – EDN PBUJZO.
14. The use of third-party libraries when writing programs for processing statistical data / A.V. Poluektov, F. V. Makarenko, A. S. Yagodkin // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 2. – Pp. 33-41. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-2-33-41. – EDN HHYURU.
15. Experimental studies of radiation effects on FRAM microcircuits / V. K. Zolnikov, N. G. Gamzatov, V. I. Antsiferova [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – Pp. 16-24. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-3-16-24. – EDN UOCKEW.
16. Modeling of oscillatory processes in the MVSTUDIUM package / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, V. I. Antsiferova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – Pp. 139-148. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-4-139-148. – EDN PPOUDI.
17. Hardware and software complex for automated tests of high-current converters / A. I. Zarevich, S. V. Muravyev, E. V. Bedareva [et al.] // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. - 2013. – Vol. 322, No. 4. – Pp. 180-184.

Научное издание

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ
И ТЕХНОЛОГИЙ – 2026

Материалы Международной научно-практической конференции,
посвященной 5-летию Факультета компьютерных наук и технологий

Воронеж, 13 февраля 2026 г.

Ответственные редакторы В.К. Зольников, А.И. Заревич

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 04.06.2026. Объем данных 18,8 Мб
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8