

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



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ
И ПРОЦЕССОВ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции
Воронеж, 14 октября 2025 г.

Воронеж 2025

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



PROBLEMS AND PROSPECTS IN SYSTEMS AND PROCESS MODELING

Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference
Voronezh, October 14, 2025

Voronezh 2025

П78 Проблемы и перспективы моделирования систем и процессов : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 14 октября 2025 г. / отв. ред. А. Н. Потапов ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2025. – 528 с. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2025/problemu-i-perspektivy-modelirovaniya-sistem-i-processov/>. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7994-1215-9

В сборнике представлены материалы Всероссийской научно-практической конференции, проведенной Воронежским государственным лесотехническим университетом 14 октября 2025г., разбитые на секции: «Системный анализ, управление, обработка информации»; «Системы автоматизации проектирования»; «Современная электронная компонентная база». 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 образования и промышленности, научных работников, аспирантов и студентов высших учебных заведений, специализирующихся в вопросах информатизации, системного анализа, 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.

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

Потапов Андрей Николаевич, профессор кафедры вычислительной техники и информационных систем ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», д.т.н., профессор.

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

Громов Юрий Юрьевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных систем и защиты информации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ») (г. Тамбов).

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. Системный анализ, управление, обработка информации

Анциферова В.И., Сахаров А.А. Применение и сравнение различных библиотек для стеганографии в цифровых изображениях	10
Ачкасов А.В., Мальцев В.В., Лемза С.А. Интеллектуальная система мониторинга лесов на основе глубокого обучения и слияния мультимодальных данных	18
Ачкасов Д.А. Эволюция генетических алгоритмов многокритериальной оптимизации.....	27
Букреев Д.Е. Разработка алгоритма оптимизации маршрутизации доставки товаров.....	33
Волкова С.Н. Методы защиты облачных хранилищ: анализ современных подходов.....	42
Дубровин А.С., Сумин В.И. Классический гармонический системный анализ и обработка информации в модели отталкивания с радиационным трением точечных зарядов.....	50
Евдокимова С.А., Новикова Т.П. Учет предотвращения столкновений AGV при планировании маршрута движения на складе.....	59
Евдокимова С.А., Залукаев Е.О. Разработка функциональной модели процесса аутентификации сотрудника на КПП.....	67
Здоровцов Н.С., Евдокимова С.А. Разработка архитектуры защищенного веб-приложения интернет-магазина.....	74
Кравченко А.С., Тюнина А.М. Сравнительный анализ DOCKER и GVISOR для изоляции WORKLOADS. контейнеризация и виртуализация.....	82
Куницын В.И., Лучников В.С., Ильин Е.С., Карташов А.О. SELF-HEALING базы данных: концепция самовосстанавливающихся систем хранения	90
Куницын В.И., Лучников В.С., Ильин Е.С., Карташов А.О. Автономные ИИ-агенты в многоагентных системах и метавселенных	99
Куницын В.И., Лучников В.С., Ильин Е.С., Карташов А.О., Скворцова Т.В. Методы снижения киберболезни в виртуальной реальности.....	104
Куницын В.И., Лучников В.С., Ильин Е.С., Карташов А.О. Базы данных для генеративных моделей: архитектуры, вызовы и перспективы.....	108
Оксюта О.В., Рублева А.А., Скворцова Т.В. Анализ распространения интернета на основе моделей диффузии.....	121

Парамонов А.Г., Оксюта О.В. Анализ данных с криптовалютных бирж для использования в системах поддержки принятия решений для арбитражного трейдинга.....	129
Переславцев К.В., Зольников К.В. Моделирование процесса генерации товарных знаков с применением нейронных сетей.....	135
Проскурин А.И., Юдина Н.Ю. Обзор моделей обнаружения скрытой радиолинии от несанкционированного доступа к информации охраняемого объекта.....	142
Проскурин А.И., Юдина Н.Ю. Моделирование автокорреляционного метода обнаружения линейно-частотно модулированного сигнала с использованием языка программирования PYTHON	148
Тюнина А.М., Кондусова В.В., Кукуева Д.С., Сахаров С.Л. Этические аспекты и проблемы смещения (BIAS) в больших языковых моделях (LLM).....	154
Тюнина А.М., Кондусова В.В., Кукуева Д.С., Сахаров С.Л. Протоколы и архитектуры для безопасного взаимодействия в интернете вещей с низким энергопотреблением: сравнительный анализ LPWAN-технологий.....	163
Тюнина А.М., Кондусова В.В., Кукуева Д.С., Сахаров С.Л. Архитектурные паттерны для бессерверных приложений: сравнительный анализ подходов и практические аспекты реализации.....	170
Тюнина А.М., Кондусова В.В., Кукуева Д.С., Гончаров В.В. Противоборствующие атаки на системы компьютерного зрения и защита от них..	177
Тюнина А.М., Кондусова В.В., Кукуева Д.С., Амелин П.П. Применение методов EXPLAINABLE AI (XAI) для интерпретации решений глубоких нейронных сетей.....	185
Тюнина А.М., Кукуева Д.С., Кондусова В.В. Применение графовых баз данных для выявления мошеннических схем в финансовой сфере.....	192
Тюнина А.М., Кукуева Д.С., Кондусова В.В., Зольников К.В. Цифровые двойники в промышленности: архитектура, применение и экономическая эффективность.....	199
Тюнина А.М., Кондусова В.В., Кукуева Д.С., Заленская Н.Ю. Алгоритмические и архитектурные методы оптимизации энергопотребления в высокопроизводительных и облачных вычислениях....	205
Тюнина А.М., Кукуева Д.С., Кондусова В.В., Ситников А.С. Методы и алгоритмы обеспечения консистентности данных в распределенных системах: сравнительный анализ подходов.....	211

А.М. Тюнина, А.В. Шпинева Квантовые вычисления как угроза современной криптографии. обзор алгоритма шора и постквантовая криптография.....217

СЕКЦИЯ 2. Системы автоматизации проектирования

Гладких Т.В. Автоматизация процесса обработки заказов клиентов с использованием системы 1С	233
Карташов А.О., Тен Р.В. Использование графических средств для вывода информации о влиянии выбросов CO ₂ в регионах РФ	241
Карташов А.О., Оксюта О.В., Павлов А.Ю. Использование математических моделей для анализа данных и прогнозирования	247
Карташов А.О., Оксюта О.В., Кущева И.С. Обзор методов визуализации и перспективы развития данной области	253
Карташов А.О., Оксюта О.В., Кущева И.С. Подготовка данных и выбор метода прогнозирования.....	261
Карташов А.О. Причины потери данных, методы борьбы и профилактики	268
Карташов А.О., Куницин В.И., Толкачев А.В. Создание информационной модели для анализа влияния лесного покрова на выбросы углекислого газа...	273
Малышев Д.А., Евдокимова С.А. Архитектура защищенного веб-приложения для управления программными проектами	280
Новиков А.И., Лебедев А. В., Гаврин Д.С., Новикова Т.П. HSI-агромониторинг: составляющие эффективного управления системой «дистанционный детектор – поле – наблюдатель»	287
Новиков А.И., Часовских С.В., Новикова Т.П. HSI-агромониторинг: к вопросу рационального выбора сегментации фоновых пикселей для определения параметров растительных объектов на разных оптических фонах.....	292
Перов С.И. Имитационное моделирование в сфере образования	296
Перов С.И. Облачные технологии как инструмент хранения данных.....	301
Перов С.И., Толкачев А.В. Цифровые карты и навигационные сервисы	306
Перов С.И., Арапов Д.В. Автоматизация бытовых процессов с помощью ИТ-технологий. Умный дом	311
Подольский Е.В. Преимущества и особенности применения DASHBOARDING в промышленности (на примере производства гибкой черепицы)	316
Полуэктов А.В., Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Сухарский А.В. Моделирование очага пожара в сосновом лесу при разных условиях возгорания.....	323
Рожкова О.А., Орлова Д.Е. Обеспечение информационной безопасности при	

использовании САПР	332
Сулько С.С., Акименко А.В. Применение информационных технологий в молочном животноводстве	338

СЕКЦИЯ 3. Современная электронная компонентная база

Ильин Е.С., Потапов А.Н. Методы исследования эффективности радиоэлектронных устройств	345
Ильин Е.С., Потапов А.Н. Основные критерии эффективности радиотехнических устройств	352
Ильин Е.С. Радиоэлектронные устройства в астрономии: поиск внеземных сигналов и SETI	358
Кирин Е.А., Евчук И.Р. Архитектурная эволюция и технологические решения фронтенд-приложения «Атом.ОКО»	362
Кирин Е.А., Евчук И.Р. Особенности реализации фронтенда для приложений с машинным обучением	372
Косых В.Д. Использование искусственного интеллекта для диагностики заболеваний по медицинским изображениям	380
Косых В.Д. Мост между орбитой и Землей: спутниковая связь и передача данных на МКС	386
Косых В.Д., Осипов М.А. Применение технологий носимой электроники для мониторинга физиологических показателей человека	391
Косых В.Д. Системы автоматического распознавания речи (ASR)	396
Косых В.Д. Технологии экстренного реагирования при ДТП: анализ системы eCall и её российских аналогов в контексте it-интеграции	402
Котляров В.В. Проблемы существующих способов расчета стойкости КМОП микросхем к протонному излучению	408
Литвинов А.И., Оксюта О.В. Микро сервисная архитектура как инструмент повышения отказоустойчивости информационных систем	416
Назарова А.К. Разработка мобильной платформы «Сканируй-и-утилизируй» для повышения эффективности раздельного сбора сложных бытовых отходов	424
Палаткин В.Н. IoT сети для точного земледелия	430
Пустовалов А.А., Заревич А.И. Исследование стандартов подписания документов электронной подписью в браузере: анализ взаимодействия программного обеспечения Кристо-Про и веб-приложений информационной системы	441

Скворцова Е.И., Зольников В.К., Ягодкин А.С. Современные авиационные двигатели: история, конструкция, новые технологии, экологические перспективы	449
Скворцова Е.И., Зольников В.К., Ягодкин А.С. Бортовое радиоэлектронное оборудование	458
Скворцова Е.И., Зольников В.К., Ягодкин А.С. Высокопрочные материалы для авиаконструкций.....	466
Сухарский А.В. Выбор и сравнение коаксиальных кабелей	477
Чечукова К.О. Разработка мобильной платформы «Mycology Guide» для идентификации грибов	483
Шпинев А.В., Потапов А.Н. Воздействие тяжелых заряженных частиц на микроконтроллеры	488
Шпинев А.В., Потапов А.Н. Защита от космического излучения в зарубежных микроконтроллерах	499
Шпинев А.В., Потапов А.Н. Виды воздействия на электронное оборудование в космических кораблях. отечественные производители стойких к радиации микроконтроллеров.....	512

СЕКЦИЯ 1
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ,
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

DOI: 10.58168/PPSPM2025_10-17

УДК 625.7/.8

ПРИМЕНЕНИЕ И СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ БИБЛИОТЕК ДЛЯ
СТЕГАНОГРАФИИ В ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В.И. Анциферова, А.А. Сахаров

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

Статья посвящена исследованию стеганографии в цифровых изображениях, а также реализации и сравнению алгоритма LSB-кодирования при помощи различных библиотек на языке программирования Python. На основе полученных данных составлены сравнительные таблицы об исследуемых библиотеках.

Ключевые слова: стеганография, стеганоанализ, LSB-кодирование, наименьший значащий бит.

APPLICATION AND COMPARISON OF VARIOUS LIBRARIES FOR
STEGANOGRAPHY IN DIGITAL IMAGES

V.I. Antsiferova, A.A. Sakharov

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

The article is devoted to the study of Steganography in digital images, as well as the implementation and comparison of the LSB-code algorithm using various libraries in the Python programming language. Based on the data obtained, comparative tables about the studied libraries are compiled.

Keywords: steganography, steganoanalysis, LSB-encoding, least significant bit.

Введение

В нынешнюю цифровую эпоху защита информации имеет решающее значение из-за быстрой передачи данных через Интернет. Криптография делает данные нечитаемыми для неавторизованных пользователей, но может привлечь внимание, заставляя данные выглядеть явно зашифрованными [1]. Стеганография, напротив, скрывает существование самой информации. Стеганография — это способ сокрытия секретной информации внутри файлов или изображений [2].

С развитием компьютерных технологий методы стеганографии в цифровых изображениях приобрели особую актуальность. Они применяются в различных сферах — от защиты авторских прав и маркировки контента до обеспечения конфиденциальности в коммуникациях [3, 4, 5]. Однако эти же методы могут использоваться и в злонамеренных целях, например, для скрытой передачи вредоносного кода или организации скрытых каналов утечки информации.

В данной статье будут рассмотрены основные принципы стеганографии в цифровых изображениях на примере популярного метода встраивания данных LSB-кодирования, протестированы и проанализированы наиболее популярные модули для языка программирования Python по данной теме.

LSB-кодирование

Методов для сокрытия секретной информации существует множество и различаются они по разным критериям: типу носителя, области внедрения, устойчивости к обнаружению и преобразованиям. LSB-кодирование (Least Significant Bit — "наименьший значащий бит") — это один из самых простых и распространенных методов стеганографического встраивания информации в цифровые изображения [6]. Его суть состоит в том, что биты секретного сообщения встраиваются в младшие (крайние правые) значащие биты пикселей изображения.

Данный метод считается наиболее популярным для стеганографии в цифровых изображениях ввиду своей простоты, эффективности и возможности использования в комбинации с другими методами стеганографии.

Рассматриваемые данные

Для данной работы были подготовлены данные: одна тысяча черно-белых изображений в разрешении 256x256 точек (рисунок 1) и переконвертированы в формат JPG для решения одной проблемы, о которой будет сказано позже.

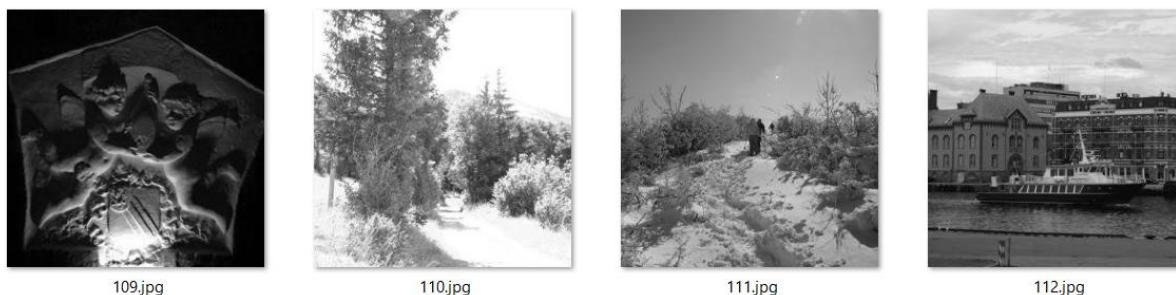


Рисунок 1 – Пример подготовленных данных

Используемые библиотеки

Первой библиотекой будет StegoPy — это инструмент для стеганографии на Python, реализующий метод LSB-кодирования.

Из положительных особенностей модуля можно отметить:

- простоту использования (вызов функции производится из терминала в одну строку);
- возможность шифрования для увеличения надежности сокрытия информации;
- возможность настраивать баланс - количество младших битов, задействованных в стеганографии в диапазоне от 1 до 4.

Но принцип использования накладывает серьезное ограничение: обработка изображения помещает результат с фиксированным именем «out.png» в директорию проекта, что в последствии будет мешать распараллеливанию процесса и серьезно ударит по производительности. Так же стоит отметить невозможность работы с изображениями в формате PNG из-за чего было принято решение сконвертировать все изображения в формат JPG. Еще одним минусом является то, что функционал библиотеки ограничен одним лишь методом LSB.

Следующим объектом исследования стал модуль Stegano. Из отличительных особенностей библиотеки можно выделить:

- множество поддерживаемых методов стеганографии;
- простота интеграции в python-проекты;
- быстрая скорость обработки.

Последней рассматриваемой библиотекой будет Pillow. Pillow — это современная и удобная библиотека для работы с изображениями в Python, являющаяся форком старой библиотеки PIL (Python Imaging Library). Она предоставляет широкие возможности для редактирования, сохранения и анализа изображений в различных форматах. При том, что Pillow не разрабатывалась как библиотека для стеганографии, богатый функционал библиотеки предоставляет возможность для этого.

Pillow поддерживает множество операций с изображениями, включая:

- Открытие и сохранение в форматах: JPEG, PNG, BMP, GIF, TIFF, WebP и др.;
- Изменение размеров (resize, thumbnail, crop);
- Наложение фильтров (размытие, контрастность, цветокоррекция);
- Рисование (линии, фигуры, текст);
- Работа с метаданными (EXIF, IPTC);
- Преобразование цветовых моделей (RGB, HSV, Grayscale).

Сравнение результатов

Для задачи LSB-стеганографии важны три основные метрики качества изображений: PSNR, MSE и SSIM.

PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio – «пиковое отношение сигнал/шум») — метрика, оценивающая уровень искажений между оригинальным и изменённым изображением, выражая отношение максимальной мощности сигнала к мощности шума (искажений). Чем выше PSNR, тем меньше искажений и выше качество изображения. В контексте LSB-стеганографии значения около 45 дБ и выше означают, что изменения в изображении практически незаметны для глаза.

MSE (Mean Squared Error – «среднеквадратичная ошибка») - среднее значение квадратов разностей пикселей между оригиналом и стего-изображением.

SSIM (Structural Similarity Index – «индекс структурного сходства») — метрика, оценивающая сходство между двумя изображениями с учётом яркости, контраста и структуры, моделируя восприятие человека. SSIM варьируется в диапазоне от -1 до 1, где 1 означает совершенное совпадение изображений.

Численные метрики проведенного LSB кодирования представлены в сравнительной таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения численных метрик LSB-кодирования.

Метрика	Pillow	Stegano	StegoPy
PSNR, дБ	46.96	46.96	46.74
MSE, пикселей	1.55	1.55	1.61
SSIM	0.9962	0.9962	0.9960
Время кодирования 1000 изображений, сек	26.56	21.63	301,52

Таблица сравнения модулей по характеристикам и опыту использования представлена ниже (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение характеристик и опыт использования.

Характеристика	Pillow	Stegano	StegoPy
Поддержка форматов	Все	PNG, BMP, JPEG (EXIF)	JPG, BMP
Поддержка шифрования	Нет	Нет	Да (DES)
Методы стеганографии	Только LSB	LSB + EXIF + генераторы	Только LSB
Уровень контроля	Высокий (низкоуровневый подход)	Средний	Низкий
Простота кода	Средняя	Высокая	Очень высокая

Таким образом, можно сделать вывод об использовании того или иного модуля для LSB-кодирования засекреченных сообщений: если нужен полный контроль над процессом, подойдет низкоуровневая и быстрая библиотека Pillow; если превалирует быстрота и легкость написания кода, то Stegano; если в проекте важно шифрование, то StegoPy.

Выводы

Стеганография изображений представляет собой надежное средство встраивания конфиденциальной информации в цифровые изображения для об-

легчения безопасной связи. В этом проекте успешно реализована технология кодирования и декодирования на основе наименее значимого бита (LSB) на языке программирования Python. Выбранный метод эффективно демонстрирует, как цифровые изображения могут служить незаметными носителями скрытых сообщений, не вызывая подозрений и не ставя под угрозу качество изображения.

Список литературы

1. Солодуха Р.А. Концепция формирования системы противодействия стеганографическим каналам в компьютерных сетях органов внутренних дел // Вестник Воронежского института МВД России, 2021. – №1. – С. 131-142.
2. Солодуха Р.А., Атласов И.В., Кубасов И.А. Стеганоанализ цифровых изображений: технологии, алгоритмы, программная реализация. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2022. – 177 с.
3. Бегларян М.Е., Возняк Г.Н. Судебная компьютерно-техническая экспертиза. Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2015. – 72 с.
4. Солодуха Р.А., Атласов И.В., Кубасов И.А. Оценка достоверности результатов стеганоанализа серии изображений // Вестник Воронежского института МВД России, 2018. – №1. – С. 51-65.
5. Атласов И.В., Солодуха Р.А. Стеганоанализ цифровых изображений: автоматизация, оптимизация, достоверность: монография. Электр. дан. и прогр. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2020. – 171 с.
6. Солодуха, Р. А. Формирование текстурных параметров изображения на основе гауссовских марковских случайных полей как предварительный этап стеганоанализа // Охрана, безопасность, связь. – 2021. – № 6-2. – С. 278-284.
7. Солодуха, Р. А. Формирование текстурных параметров изображения на основе вычисления фрактальной размерности // Охрана, безопасность, связь. – 2022. – № 7-2. – С. 276-280.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682838 Российская Федерация. Автоматизация стеганографических приложений: № 2022682094 : 28.11.2022 / Р. А. Солодуха.
9. Feature Extractors for Steganalysis [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dde.binghamton.edu/download/feature_extractors/ (дата обращения: 10.06.2023)

10. L. Fillatre, Adaptive steganalysis of Least Significant Bit replacement in grayscale natural images // IEEE Transactions on Signal Processing, 2012. – vol. 60. – issue 2. – pp. 556-569.
11. Dumitrescu S., Wu X., Memon D. On steganalysis of random LSB embedding in continuous-tone images // Proceedings of ICIP. 2002. pp.641-644.
12. Солодуха Р.А. Статистический стегоанализ фотореалистичных изображений с использованием градиентных путей // Вопросы кибербезопасности, 2022. – №1. – С. 26-36.
13. Liu Q. Steganalysis of DCT-embedding based adaptive steganography and YASS / Proceedings of the 13th ACM Multimedia & Security Workshop, 2011. – pp. 77-86.
14. Оксюта, О.В. Модель системы планирования и оперативного управления экономическим объектом / О.В. Оксюта, А.Л. Курина // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 60-64.
15. Сазонова, С.А. Решение задачи статического оценивания систем газоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7, № 11-1. – С. 139-141.
16. Анализ методов оценки поставщиков товаров, использующих транспортные логистические компании / В.В. Лавлинский, С.И. Лыков, А.И. Лыков, В.Ю. Обоимова // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 43-49.

References

1. Solodukha R.A. Concept of formation of the system of counteraction to steganographic channels in computer networks of internal affairs bodies // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2021. - No. 1. - P. 131-142.
2. Solodukha R.A., Atlasov I.V., Kubasov I.A. Steganalysis of digital images: technologies, algorithms, software implementation. Voronezh: Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2022. - 177 p.
3. Beglaryan M.E., Voznyak G.N. Forensic computer-technical examination. Moscow: UNITY-DANA, 2015. - 72 p.
4. Solodukha R.A., Atlasov I.V., Kubasov I.A. Assessing the reliability of the results of steganalysis of a series of images // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2018. - No. 1. - P. 51-65.

5. Atlasov I.V., Solodukha R.A. Steganalysis of digital images: automation, optimization, reliability: monograph. Elektr. dan. i progr. Voronezh: Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2020. - 171 p.
6. Solodukha, R.A. Formation of texture parameters of an image based on Gaussian Markov random fields as a preliminary stage of steganalysis // Security, safety, communications. - 2021. - No. 6-2. - P. 278-284.
7. Solodukha, R.A. Formation of texture parameters of an image based on the calculation of the fractal dimension // Security, safety, communications. – 2022. – No. 7-2. – P. 276-280.
8. Certificate of state registration of computer program No. 2022682838 Russian Federation. Automation of steganographic applications: No. 2022682094: 28.11.2022 / R. A. Solodukha.
9. Feature Extractors for Steganalysis [Electronic resource]. Access mode: http://dde.binghamton.edu/download/feature_extractors/ (date of access: 10.06.2023)
10. L. Fillatre, Adaptive steganalysis of Least Significant Bit replacement in grayscale natural images // IEEE Transactions on Signal Processing, 2012. – vol. 60. – issue 2. – pp. 556-569.
11. Dumitrescu S., Wu X., Memon D. On steganalysis of random LSB embedding in continuous-tone images // Proceedings of ICIP. 2002. pp.641-644.
12. Solodukha R.A. Statistical steganalysis of photorealistic images using gradient paths // Cybersecurity Issues, 2022. - No. 1. - P. 26-36.
13. Liu Q. Steganalysis of DCT-embedding based adaptive steganography and YASS / Proceedings of the 13th ACM Multimedia & Security Workshop, 2011. - pp. 77-86.
14. Oksyuta, O.V. Model of the planning and operational management system of an economic entity / O.V. Oksyuta, A.L. Kurina // Modeling of systems and processes. – 2017. – Vol. 10, No. 1. – P. 60-64.
15. Sazonova, S.A. Solution of the problem of static assessment of gas supply systems / S.A. Sazonova // Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2011. – Vol. 7, No. 11-1. – P. 139-141.
16. Analysis of methods for assessing suppliers of goods using transport logistics companies / V.V. Lavlinsky, S.I. Lykov, A.I. Lykov, V.Yu. Obimova // Modeling of systems and processes. – 2017. – Vol. 10, No. 4. – P. 43-49.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ И СЛИЯНИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ДАННЫХ

А.В. Ачкасов, В.В. Мальцев, С.А. Лемза

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

Аннотация. В статье предложена мультимодальная система мониторинга лесных экосистем, основанная на интеграции данных дистанционного зондирования и наземных сенсоров с использованием методов глубокого обучения. Разработанная архитектура обеспечивает высокую точность при обнаружении пожаров, вспышек вредителей и незаконных вырубок леса благодаря объединению визуальных и временных данных. Результаты показывают потенциал системы для применения в оперативном экологическом мониторинге и цифровом управлении лесными ресурсами.

Ключевые слова: мультимодальный мониторинг, лесные экосистемы, дистанционное зондирование, наземные сенсоры, глубокое обучение, нейросетевые архитектуры, раннее обнаружение угроз.

INTELLIGENT FOREST MONITORING SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING AND MULTIMODAL DATA FUSION

A. Achkasov, V. Maltsev, S. Lemza

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

This paper proposes a multimodal forest ecosystem monitoring system based on the integration of remote sensing and ground-based sensor data using deep learning methods. The developed architecture ensures high accuracy in detecting fires, pest outbreaks, and illegal logging by combining visual and temporal data. The results demonstrate the system's potential for application in operational environmental monitoring and digital forest resource management.

Keywords: multimodal monitoring, forest ecosystems, remote sensing, ground-based sensors, deep learning, neural network architectures, early threat detection.

Введение

Современные изменения климата, нарастающее антропогенное давление и увеличение частоты стихийных бедствий приводят к необходимости разработки высокотехнологичных подходов к мониторингу и управлению лесными экосистемами. Традиционные методы наблюдения за состоянием лесов, основанные преимущественно на периодических наземных обследованиях, оказываются недостаточными в условиях стремительно меняющейся окружающей среды. Цифровая трансформация лесного хозяйства требует внедрения интеллектуальных систем, способных обрабатывать большие объемы разнородной информации в режиме, близком к реальному времени.

Одним из перспективных направлений в этой области является создание мультимодальных систем мониторинга, объединяющих данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) — спутниковые снимки, аэрофотосъемку с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) — с показаниями от наземных сенсоров, включая данные о температуре, влажности, составе воздуха и других параметрах. Для анализа столь сложных и разнородных данных требуются методы, выходящие за рамки классической статистики. Именно здесь на первый план выходят технологии глубокого обучения и мультимодального анализа данных.

Цель данного исследования заключается в разработке архитектурных и алгоритмических основ интеллектуальной системы мониторинга лесных экосистем, основанной на глубокой интеграции гетерогенных источников данных с применением современных методов искусственного интеллекта. Предложенный подход ориентирован на решение таких критически важных задач, как раннее обнаружение пожаров, вспышек вредителей и незаконных вырубок леса.

Актуальность исследования

Растущие угрозы экосистемам лесов диктуют необходимость перехода от фрагментарного сбора данных к комплексным цифровым системам мониторинга. Применение технологий дистанционного зондирования позволило значительно расширить возможности наблюдения за крупными территориями, однако без контекста наземных наблюдений такие данные могут быть недостаточно точными или интерпретируемыми. Например, спутниковая съемка может фиксировать термическую аномалию, но только данные от сенсоров на местности

позволяют подтвердить наличие очага возгорания или исключить ложноположительный сигнал.

Кроме того, растущие объёмы данных, получаемых в режиме высокой частоты, требуют применения автоматизированных методов анализа. Глубокие нейронные сети продемонстрировали высокую эффективность при обработке визуальных данных, а также при интеграции мультиканальных входных потоков, что делает их идеальными кандидатами для построения интеллектуальных систем мониторинга окружающей среды [1, 2].

Современные исследования подчеркивают важность создания открытых и масштабируемых платформ для мониторинга лесов на основе машинного обучения. Такие решения, как OpenForest, обеспечивают доступ к репрезентативным наборам данных и облегчают разработку универсальных алгоритмов [3]. Вместе с тем, до сих пор остаётся ряд нерешённых задач, связанных с надёжной интеграцией мультимодальных источников информации, обучением моделей в условиях ограниченных или зашумлённых данных, а также обеспечением устойчивости прогнозов к внешним воздействиям.

Таким образом, разработка мультимодальной системы мониторинга с использованием методов глубокого обучения является насущной задачей, способной внести значительный вклад в устойчивое управление лесными ресурсами и сохранение биоразнообразия.

Методология исследования

Разработка мультимодальной системы мониторинга лесных экосистем требует комплексного подхода, включающего этапы сбора данных, предобработки, построения моделей и валидации результатов. Методологическая база исследования основана на современных подходах в области компьютерного зрения, анализа временных рядов и мультимодального машинного обучения.

Источники и структура данных для формирования информационного пространства системы используются три ключевых типа данных:

Дистанционное зондирование: высокоразрешающие спутниковые снимки и данные с БПЛА. Они обеспечивают визуальную информацию о структуре леса, индексах вегетации (NDVI, EVI), термических аномалиях и изменениях ландшафта во времени [1, 4].

Наземные сенсоры: датчики температуры, влажности, концентрации CO₂, освещённости, вибрации и других параметров, размещённые на ключе-

вых участках лесных массивов. Эти данные позволяют оценивать микроклиматические и биофизические характеристики среды [2].

Внешние данные: метеорологические данные, статистика пожаров, отчёты наблюдателей и базы данных о распространении вредителей.

Каждый из источников данных имеет свою пространственно-временную и логическую специфику, что требует применения методов согласования и унификации (datafusion). Используется подход «раннего слияния» (earlyfusion) для объединения признаков на уровне входных данных и «позднего слияния» (latefusion) для объединения прогнозов от отдельных моделей [5].

Архитектура нейросетевой модели В качестве основной архитектуры применяется ансамбль моделей, включающий сверточные нейронные сети (CNN) для обработки изображений, а также трансформеры (Transformer) и рекуррентные нейронные сети (LSTM) — для анализа временных рядов с наземных сенсоров.

Слой предварительной обработки включает:

- нормализацию изображений,
- интерполяцию временных рядов,
- устранение пропусков данных и устранение шумов (например, выбросов от ложных срабатываний датчиков).

Визуальные данные с БПЛА и спутников анализируются с помощью ResNet-50 и EfficientNet, обученных с использованием transferlearning. Временные характеристики из сенсоров и внешних источников поступают в отдельный входной поток, обрабатываемый сетью на базе трансформеров, позволяющей учитывать долгосрочные зависимости и сезонные колебания [3, 6].

Мультимодальная интеграция для интеграции результатов из различных модальностей используется модуль внимания (attention), который позволяет системе акцентировать внимание на наиболее значимых признаках в зависимости от контекста. Этот подход доказал свою эффективность при анализе гетерогенных экологических данных [7,8].

Объединённые признаки подаются на финальный классификатор (полносвязнаянейросеть), задача которого — распознавание состояний: «норма», «угроза пожара», «вредитель», «незаконная вырубка», «аномалия». Обучение модели проводится с использованием кросс-валидации и стратифицированного семплирования для минимизации смещения.

Оценка качества модели для оценки эффективности предложенной архитектуры использовались стандартные метрики: точность (precision), полнота (recall), F1-мера и ROC-AUC. Модель сравнивалась с альтернативными подходами — логистической регрессией, XGBoost и отдельными CNN и LSTM-моделями без интеграции данных. Валидация проводилась на наборах данных, собранных в разных климатических зонах — от таёжных до широколиственных лесов, включая участки, подверженные пожарам и засухам.

Результаты и обсуждение

Разработанная мультимодальная система мониторинга была протестирована на данных, собранных в пилотных регионах с различными лесными типами — в том числе хвойных и смешанными лесами. Общая архитектура представлена на рис. 1. В качестве контрольных точек были выбраны участки с исторически задокументированными случаями природных и антропогенных воздействий: лесные пожары, вспышки насекомых-вредителей, незаконные рубки и аномальные погодные явления.



Рисунок 1 - Архитектура мультимодальной системы мониторинга лесных экосистем

Сравнение с классическими подходами Модель, основанная на глубоком мультимодальном обучении, продемонстрировала значительное преимущество по сравнению с традиционными методами мониторинга. В частности:

F1-мера составила 0.91, по сравнению с 0.76 у модели XGBoost и 0.68 у стандартной CNN, обученной только на спутниковых изображениях.

Полнота (recall) при обнаружении пожаров достигла 0.94, что позволяет использовать систему как надёжный инструмент для раннего оповещения.

Precision при обнаружении следов незаконной вырубki — 0.89, что особенно важно для минимизации ложных тревог в оперативной практике [1, 4].

График (рис. 2) показывает, как изменяется точность F1-score в зависимости от объема обучающих данных (в процентах от полного набора). Видно, что мультимодальные архитектуры демонстрируют устойчивое превосходство даже при использовании только 60–70% данных, тогда как базовая модель чувствительна к уменьшению обучающей выборки.

Таким образом, наилучшие результаты достигаются при использовании гибридной архитектуры CNN + Transformer, которая позволяет эффективно извлекать информацию как из изображений, так и из сенсорных временных рядов.

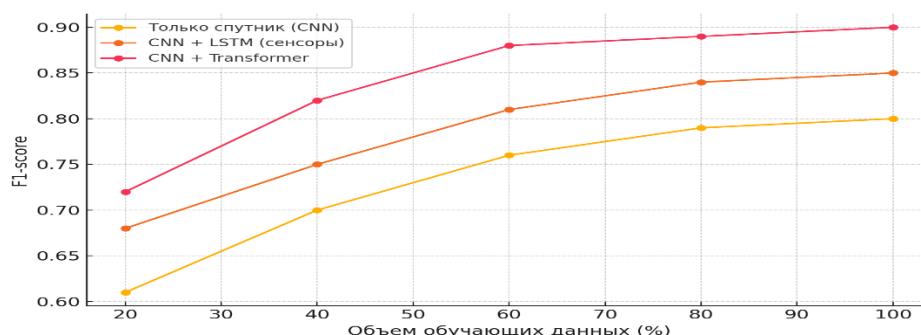


Рисунок 2 - Зависимость точности F1-score от объема обучающих данных

Интеграция временных рядов от наземных сенсоров значительно повысила устойчивость модели к зашумленным или неполным визуальным данным, особенно в условиях облачности или дымовой завесы. В таких ситуациях сенсоры продолжали предоставлять актуальную информацию о микроклимате, позволяя системе делать корректные выводы.

Интерпретируемость и визуализация одной из задач исследования было обеспечение интерпретируемости модели для специалистов в области лесного хозяйства. Для этого использовались методы визуализации карт внимания (attentionmaps) и интерпретации признаков через Grad-CAM и SHAP-аналитику. В результате пользователь может не только получить предупреждение о возможной угрозе, но и увидеть, какие именно параметры стали основой для вывода модели (например, температурный скачок, резкое снижение NDVI и рост содержания CO) [2, 6].

Универсальность архитектуры Модель показала высокую адаптивность к различным источникам данных. При необходимости она может быть дообучена на новых территориях с использованием небольшой выборки размеченных

данных. Это делает систему перспективной для масштабирования и применения в различных странах с учётом локальных особенностей экосистем и инфраструктуры наблюдений [3, 5].

Ограничения и вызовы

Несмотря на высокие результаты, остаются вызовы, связанные с:

- ограниченной доступностью высокочастотных спутниковых данных в регионах с частой облачностью,
- необходимостью периодической калибровки наземных сенсоров,
- потребностью в репрезентативных размеченных выборках для обучения модели в новых природных зонах.

Также были выявлены случаи, когда система ошибочно интерпретировала изменения в растительном покрове, вызванные сезонной уборкой древесины, как незаконные вырубки. Для решения таких проблем необходима более глубокая интеграция контекстных данных, включая плановые лесохозяйственные мероприятия.

Заключение и перспективы развития

Результаты проведённого исследования подтверждают высокую эффективность применения мультимодального подхода к мониторингу лесных экосистем на основе интеграции данных дистанционного зондирования и наземных сенсоров с использованием методов глубокого обучения. Предложенная архитектура демонстрирует высокую точность и устойчивость в задачах раннего обнаружения угроз, включая пожары, вспышки вредителей и незаконные вырубки.

Система успешно справляется с обработкой и интерпретацией разнородных данных благодаря использованию ансамбля нейросетевых моделей, механизмов внимания и модулей визуализации. Это делает её пригодной для применения в оперативной практике лесного хозяйства, природоохранных ведомствах и службах МЧС.

Несмотря на достигнутые результаты, исследование открывает широкие перспективы для дальнейших разработок. В частности, требуется:

- расширение обучающих выборок за счёт краудсорсинга и применения полуструктурированных данных;
- интеграция прогностических моделей изменения климата и распространения вредных организмов;

- создание интерфейсов для визуального анализа пространственно-временных паттернов угроз;
- адаптация модели под мобильные и энергоэффективные платформы для применения в полевых условиях.

Внедрение подобных интеллектуальных систем в лесной отрасли способствует переходу к устойчивому управлению природными ресурсами и цифровизации экологического мониторинга, что имеет ключевое значение в условиях глобальных климатических и антропогенных изменений.

Список литературы

1. Zhang, C., Zhang, Y., & Wei, X. A review of deep learning applications in forestry using remote sensing and other data // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15, № 21. – P. 5152. – DOI: 10.3390/rs15215152
2. Papadomanolaki, M., Vakalopoulou, M., & Karantzalos, K. Multimodal deep learning for disaster detection from satellite imagery and in-situ sensors // Expert Systems with Applications. – 2024. – Vol. 239. – P. 120141. – DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120141
3. Reinecke, J., Krause, A., & Steger, C. OpenForest: A data catalog for machine learning in forest monitoring // Environmental Data Science. – 2023. – Vol. 3. – Article e4. – DOI: 10.1017/eds.2023.4
4. Du, P., Zhang, Y., & Zhang, J. Multimodal remote sensing data fusion for forest monitoring: A review // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13, № 20. – P. 4065. – DOI: 10.3390/rs13204065
5. Zhao, W., et al. Deep learning for forest monitoring using multimodal sensor data // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2023. – Vol. 61. – P. 1–13. – DOI: 10.1109/TGRS.2023.3257311
6. Hong, D., Yokoya, N., & Chanussot, J. Graph convolutional networks and transformers for multitemporal remote sensing data // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2022. – Vol. 61. – DOI: 10.1109/TGRS.2022.3203053
7. 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. – EDNEEZDKJ.
8. Асадов, Х. Г. Моделирование температурного поля при лесных пожарах / Х. Г. Асадов, Г. З. Байрамов // Моделирование систем и процессов. –

2024. – T. 17, № 4. – C. 7-15. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-7-15. – EDNECSUWP.

References

1. Zhang, C., Zhang, Y., & Wei, X. A review of deep learning applications in forestry using remote sensing and other data // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15, № 21. – P. 5152. – DOI: 10.3390/rs15215152
2. Papadomanolaki, M., Vakalopoulou, M., & Karantzas, K. Multimodal deep learning for disaster detection from satellite imagery and in-situ sensors // Expert Systems with Applications. – 2024. – Vol. 239. – P. 120141. – DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120141
3. Reinecke, J., Krause, A., & Steger, C. OpenForest: A data catalog for machine learning in forest monitoring // Environmental Data Science. – 2023. – Vol. 3. – Article e4. – DOI: 10.1017/eds.2023.4
4. Du, P., Zhang, Y., & Zhang, J. Multimodal remote sensing data fusion for forest monitoring: A review // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13, № 20. – P. 4065. – DOI: 10.3390/rs13204065
5. Zhao, W., et al. Deep learning for forest monitoring using multimodal sensor data // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2023. – Vol. 61. – P. 1–13. – DOI: 10.1109/TGRS.2023.3257311
6. Hong, D., Yokoya, N., & Chausson, J. Graph convolutional networks and transformers for multitemporal remote sensing data // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2022. – Vol. 61. – DOI: 10.1109/TGRS.2022.3203053
7. Mal'cev V. V. Application of artificial intelligence algorithms for air pollution monitoring from urban road transport // Modeling of systems and processes. 2025. no. 2. pp. 86-96. DOI: <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2025-18-2-86-96>
8. Asadov H. H., Bayramov G. Z. Modeling of the temperature field in forest fires // Modeling of systems and processes. 2024. no. 4. pp. 7-15. DOI: <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2024-17-4-7-15>

ЭВОЛЮЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Д.А. Ачкасов

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

Статья посвящена анализу и описанию генетических алгоритмов для решения задач многокритериальной оптимизации. Рассматриваются такие алгоритмы как VEGA и FFGA, выявляются их ключевые ограничения, включая склонность к специализации и отсутствие механизмов поддержания разнообразия решений. Рассмотрен, который интегрирует концепцию силы особей, внешний архив для хранения недоминируемых решений и процедуру кластеризации для обеспечения равномерного покрытия Парето-фронта. Проведенный сравнительный анализ демонстрирует, что последовательное развитие методов от VEGA к SPEA позволило эффективно решать проблемы сходимости и разнообразия,

Ключевые слова: оптимизация, метод взвешенной суммы, VEGA, FFGA, NSGA, SPEA.

EVOLUTION OF GENETIC ALGORITHMS FOR MULTICRITERIA OPTIMIZATION

D.A. Achkasov

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

The article analyzes and details the evolution of genetic algorithms for solving multi-criteria optimization problems. It considers pioneering algorithms such as VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm) and FFGA (Fitness Function Genetic Algorithm), identifying their key limitations, including a tendency towards specialization and a lack of mechanisms for maintaining solution diversity. Particular focus is placed on the more advanced SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algorithm), which integrates the concept of individual strength, an external archive for storing non-dominated solutions, and a clustering procedure to ensure uniform coverage of the Pareto front. The comparative analysis demonstrates that the sequential development of methods from VEGA to

SPEA effectively addressed convergence and diversity issues, establishing multi-objective evolutionary algorithms as a powerful tool for finding optimal trade-offs in complex systems with conflicting criteria.

Key words: Data Mining, statistics, forecasting, moving average method, sales analysis, time series.

Задачи проектирования, управления и планирования в технике, экономике и научных исследованиях характеризуются возрастающей сложностью и наличием множества конфликтующих критериев эффективности. Такие проблемы не могут быть адекватно решены с помощью классических методов однокритериальной оптимизации, которые требуют сведения всех целей к одной скалярной функции, что не отражает всей сложности реальной ситуации. Выходом из этой ситуации является использование методов многокритериальной оптимизации (МКО), целью которых является не поиск единственного «лучшего» решения, а нахождение фронта **Парето-оптимальных решений**. Однако нахождение и аппроксимация фронта Парето сопряжены со значительными вычислительными трудностями, особенно для задач с большей размерностью (более трех критериев) и невыпуклыми областями решений, но решение возможно получить эвристически. Модификации генетических алгоритмов позволяют за одну процедуру оптимизации получить приближенное, но хорошо распределенное множество Парето-оптимальных решений. Это привело к созданию отдельного класса методов, рассмотренных далее. Актуальность темы обусловлена постоянной потребностью в мощных и надежных инструментах для поддержки принятия решений в сложных многокритериальных системах, возникающих в самых разных областях человеческой деятельности.

Постановку задачи многокритериальной оптимизации можно представить следующим образом: есть множество целевых функций $\vec{Q}(\vec{x}) = Q_1(x), Q_2(x), \dots, Q_n(x)$, наряду с ними есть область решений D_x и критериев D_Q . Если есть несколько частных критериев, можно рассмотреть задачу нахождения вектора который обеспечивает минимальное значение по каждому частному критерию.

$$\min Q_1(\vec{x}), \min Q_2(\vec{x}), \dots, \min Q_s(\vec{x}),$$

$$D_x = \left\{ \frac{\vec{x}}{g_i(\vec{x})} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

Область согласия это множество критериев, где выполняется следующий критерий: при выборе между двумя векторами альтернативных решений значе-

ния целевых функций в одном варианте лучше чем в другом. Если в этой области нет противоречия между частными критериями оптимальности и область критериев состоит только из такой области согласия, то существует только одна точка $\vec{x} \in D_x$, где частные критерии согласованы между собой, то есть при движении к $\vec{x}$ значение всех компонент $Q_1(\vec{x})$ ухудшаются. Эта точка является оптимальным решением. То есть если при изменении одного параметра все остальные параметры становятся хуже – это оптимальная точка. Обычно критерии являются противоречивыми и минимум по каждому критерию достигается в различных точках, тогда уменьшение одного приводит к увеличению других – это эффективные (Парето-оптимальные) точки. В данных точках решение нельзя улучшить по всем критериям одновременно, это совокупность точек, которые «не хуже других» по совокупности критериев [1].

Проблема состоит в том, что построение полного Парето-фронта для числа критериев >3 часто невозможна по причине вычислительной сложности. Примером могут быть такие NP полные задачи как нахождение оптимального маршрута. Тем не менее для многих задач возможно построить частичный Парето-фронт, в частности используя генетические алгоритмы.

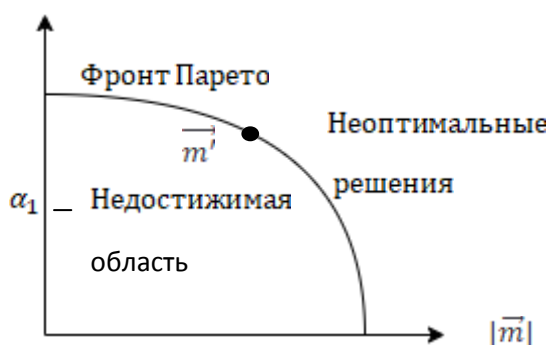


Рисунок 1 – Фронт Парето

Модели оптимизации одномерной функции исследуют отдельную часть фронта Парето. В том случае, если фронт задачи невыпуклый во всей области решений, часть точек фронта Парето окажутся ненайденными при помощи одномерных моделей оптимизации, таких как взвешенная сумма. Ключевое преимущество многоцелевой модели состоит именно в том, что она рассматривает всю вектор-функцию, а значит с её помощью можно найти и все эффективные точки.

Генетический алгоритм часто используется в своем обычном виде, но существует так же ряд его модификаций, адаптированных для задач многокритериальной оптимизации (VEGA, FFGA, NSGA, SPEA).

В VEGA селекция производится отдельно для каждого критерия и все полученные в результате подпопуляции объединяются в одну большую популяцию, к которой применяются операторы кроссинговера и мутации. Его основная идея заключается в *векторной оценке* приспособленности особей. Процедура алгоритма на каждом поколении выглядит следующим образом: популяция размера N случайным образом делится на k равных подпопуляций, где k — количество целевых функций. Для i -й подпопуляции селекция (например, рулетка или турнир) проводится на основе значения только i -й целевой функции, игнорируя все остальные. Это означает, что особи, наилучшие по одному конкретному критерию, имеют высокую вероятность быть отобранными в соответствующую подпопуляцию. Далее все отобранные особи из k подпопуляций объединяются в одну общую популяцию размера N . К объединенной популяции применяются стандартные операторы кроссинговера и мутации для создания нового поколения. Главное достоинство VEGA — его концептуальная простота и минимальные отличия от канонического ГА. Однако ему присущ серьезный недостаток — склонность к сходимости к крайним точкам Парето-фронта. Это происходит из-за отсутствия механизма, явно поощряющего особи за хорошие значения по нескольким критериям одновременно. В результате покрытие Парето-фронта получается неравномерным и неполным [2].

FFGA имеет процедуру распределения особей по рангам, основываясь на концепции доминирования по Парето. Процедура присвоения ранга включает следующие шаги: все особи, которые не доминируются никакой другой особью в популяции, получают наивысший ранг (ранг 1). Эти особи формируют первый, наилучший, Парето-фронт текущей популяции. Ранг 2 и далее временно удалив из рассмотрения особей с рангом 1, находят особи, не доминируемые в оставшейся части популяции, и присваивают им ранг 2. Процесс повторяется рекурсивно до тех пор, пока всем особям в популяции не будет присвоен ранг. После ранжирования приспособленность особи обычно назначается обратно пропорционально ее рангу. Такой подход создает постоянное селективное давление в направлении истинного Парето-фронта, так как особи с меньшим рангом имеют больше шансов на размножение. FFGA явно способствует поиску компромиссных решений, поскольку особи, хорошие по нескольким критериям, с большей вероятностью получают низкий ранг. Однако FFGA не имеет механизма для обеспечения *разнообразия* решений на одном и том же фронте.

VEGA и FFGA не способны обеспечить равномерное покрытие множества Парето. Алгоритмы NPGA и SREA, рассмотренные ниже, способны обеспе-

чить хорошее покрытие, но, чтобы это реализовать, им необходимо использовать значительные затраты на вычисления.

NSGA использует, как и FFGA, метод сортировки по недоминированию. Его существенным отличием является механизм дистанции скученности для обеспечения равномерного распределения по Парето. Сортировка по принципу отсутствия доминирования — это метод, используемый для классификации совокупности решений по различным уровням фронтов Парето. Решение считается не доминирующим, если ни одно другое решение в совокупности не превосходит его по всем критериям. Первый фронт содержит не доминирующие решения, а последующие фронты формируются путём удаления решений из предыдущих фронтов и поиска следующего набора не доминирующих решений. Особи, которые не находятся под строгим доминированием какой-либо другой особи в популяции, получают ранг 1. Рекурсивно определяются другие ранги. Каждому индивиду, который еще не был ранжирован и в котором строго доминируют индивиды с рангом 1, ..., $k - 1$, присваивается ранг k . Очевидно, что индивид тем интереснее, чем ниже его ранг [3].

Алгоритм SPEA сочетает в себе механизм отбора на основе Парето-доминирования с явной процедурой поддержания разнообразия, используя *внешний архив* для хранения наилучших найденных недоминируемых решений. На протяжении всей работы алгоритм поддерживает внешний архив, в котором хранятся все недоминируемые решения, найденные на данный момент. Для предотвращения переполнения архива и обеспечения равномерного распределения решений по Парето-фронту используется метод *кластеринга*. Когда количество недоминируемых решений в архиве превышает заданный лимит, применяется алгоритм кластеризации (например, метод среднего связывания), который группирует похожие решения. Затем в каждом кластере оставляется только одна репрезентативная особь, что позволяет сократить архив до нужного размера.

Проведенный анализ эволюции генетических алгоритмов для многокритериальной оптимизации наглядно демонстрирует последовательное решение ключевых проблем, стоящих перед данным классом методов. Введение концепции ранжирования по Парето в алгоритме FFGA позволило создать более направленное селективное давление в сторону истинного фронта. Качественный скачок связан с интеграцией элитизма и явных механизмов нишеобразования. Современные методы, берущие свое начало от SPEA и NSGA, доказали свою высокую эффективность при работе со сложными многокритериальными

задачами, имеющими невыпуклые и разрывные фронты. Дальнейшие исследования в этой области видятся в адаптации данных алгоритмов для задач большой размерности, работе в условиях неопределенности и интеграции с методами машинного обучения.

Список литературы

1. А.В. Лотов, Многокритериальные задачи принятия решений / А. В. Лотов, И.И. Поспелова ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2008. – 197 с.

2. Simon Wietheger, A Mathematical Runtime Analysis of the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III / Simon Wietheger, Benjamin Doerr // Материалы тридцать второй Международной совместной конференции по искусственному интеллекту, основная программа. – 2023. – С. 5657-5665.

3. Ачкасов Д.А. Изучение и моделирование эвристических алгоритмов оптимизации / Д.А. Ачкасов, К.В. Зольников, Н.Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2025. – №1. – С. – DOI: 10.12737/2219-0767-2025-17-28.

References

1. A.V. Lotov, Multicriteria decision-making tasks / A.V. Lotov, I.I. Pospelova: Lomonosov Moscow State University. – Moscow, 2008. – 197 p.

2. Simon Wietheger, A Mathematical Runtime Analysis of the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III / Simon Wietheger, Benjamin Doerr // IJCAI-23. – 2023. – P. 5657-5665.

3. 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. – №1. – P. – DOI: 10.12737/2219-0767-2025-17-28.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТИЗАЦИИ ДОСТАВКИ ТОВАРОВ

Д.Е. Букреев

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

Данное исследование сфокусировано на проблеме построения оптимальных маршрутов доставки в рамках городской логистической инфраструктуры. Целью исследования является разработка эффективного алгоритма маршрутизации, позволяющего минимизировать совокупные затраты на доставку при соблюдении временных окон клиентов. В работе проведен анализ классических методов решения задачи маршрутизации транспортных средств, выявлены их ограничения применительно к современным условиям. Предложен комбинированный алгоритм, сочетающий эвристический метод Кларка-Райта для формирования начальных решений и процедуру локального поиска и оператора перестановки для их улучшения. Алгоритм учитывает ключевые практические ограничения: грузоподъемность транспортных средств, временные окна доставки и продолжительность рабочего дня водителей. Результаты вычислительных экспериментов на тестовых данных демонстрируют преимущество предложенного алгоритма по сравнению с классической эвристикой "ближайшего соседа" - сокращение общего пробега на 17,3% и уменьшение количества задействованных автомобилей на 12,5%. Разработанный алгоритм может быть интегрирован в системы управления доставкой для повышения операционной эффективности логистических компаний.

Ключевые слова: оптимизация маршрутов, разработка алгоритма, логистика, алгоритм Кларка-Райта, локальный поиск, временные окна доставки.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR OPTIMIZING THE ROUTING OF GOODS DELIVERY

D.E. Bukreev

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

This article examines the problem of optimizing delivery routes in urban logistics. The goal of the study is to develop an efficient routing algorithm that minimizes total delivery costs while meeting customer time windows. The paper analyzes classical methods for solving the vehicle routing problem and identifies their limitations in modern conditions. A combined algorithm is proposed, combining the Clark-Wright heuristic for generating initial solutions with a local search procedure and a permutation operator for improving them. The algorithm takes into account key practical constraints: vehicle carrying capacity, delivery time windows, and driver workday hours. Results of computational experiments on test data demonstrate the advantage of the proposed algorithm over the classical "nearest neighbor" heuristic: a 17.3% reduction in total mileage and a 12.5% reduction in the number of vehicles deployed. The developed algorithm can be integrated into delivery management systems to improve the operational efficiency of logistics companies.

Keywords: route optimization, algorithm development, logistics, Clark-Wright algorithm, local search, delivery time windows.

Введение

Современная логистика сталкивается с растущими вызовами: увеличением объемов электронной коммерции, ужесточением требований клиентов к срокам и прозрачности доставки, необходимостью снижения операционных издержек. В этих условиях традиционные методы планирования маршрутов, основанные на опыте диспетчеров, становятся невыгодными и экономически неэффективными, что введет к ухудшению производительности.

Планирование оптимальных маршрутов для транспортных средств представляет собой сложную вычислительную задачу. Из-за своей сложности нахождение оптимального решения поиска маршрута требует больших временных затрат. В своей основе эта задача предполагает построение лучшего логистического маршрута для автомобилей, которые осуществляют доставку товаров с разных складов до точек назначения.

Целью исследования является разработка и экспериментальная проверка комбинированного алгоритма оптимизации маршрутизации, адаптированного к требованиям современных систем доставки товаров.

Актуальность исследования

Актуальность разработки алгоритма оптимизации маршрутизации доставки товаров обусловлена следующими факторами:

Экономические факторы: Логистические издержки могут составлять до 20-30% от конечной стоимости товара в сегменте электронной коммерции. Неоптимальная маршрутизация приводит к прямому увеличению затрат на топливо, амортизацию транспорта, заработную плату труда сотрудников доставки.

Операционные факторы: Современные рынок и конкуренция ожидают максимально быстрой доставки к запланированному времени доставки. Ручное планирование не способно учитывать множество взаимосвязанных ограничений: Время ожидаемой доставки, грузоподъемность транспортных средств, пробки и дорожную ситуацию, совместимость заказов и так далее.

Экологические факторы: Оптимизация маршрутов способствует снижению выбросов CO₂ за счет уменьшения общего пробега транспортных средств, что соответствует принципам "зеленой" логистики.

Методология исследования

В основу методологии заложен системный подход к решению задачи оптимизации маршрутизации, сочетающий аналитические методы и практическое решение. Исследование построено на принципах поэтапного проектирования алгоритмов - от анализа требований до экспериментальной проверки эффективности.

В нашем примере будем использовать следующие данные:

- Один склад (депо)
- Множество клиентов $N = \{1, 2, \dots, n\}$
- Транспортные средства $K = \{1, 2, \dots, m\}$ грузоподъемностью Q
- Для каждого клиента i заданы:
 - Координаты (x_i, y_i)
 - Спрос (объем/вес) q_i
 - Время обслуживания s_i
 - Временное окно $[a_i, b_i]$

Ограничения:

1. Каждый маршрут начинается и заканчивается в депо
2. Каждый клиент посещается ровно одним транспортным средством
3. Суммарный спрос в маршруте $\leq Q$
4. Время начала обслуживания клиента $i \in [a_i, b_i]$
5. Общая продолжительность маршрута $\leq T_{\max}$

Целевая функция: минимизация общего пробега

$$\text{Minimize } Z = \sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij}$$

Разработанный алгоритм

Предложен комбинированный алгоритм, состоящий из двух фаз:

Фаза 1: Построение начального решения методом Кларка-Райта

- Исходное состояние: каждый клиент обслуживается отдельным транспортным средством
- Расчет экономии для всех пар клиентов: $Savings(i,j) = d(депо,i) + d(депо,j) - d(i,j)$
- Сортировка пар клиентов по убыванию экономии
- Последовательное объединение маршрутов с проверкой ограничений

Пример расчета экономии:

Расстояния: $d(депо,A) = 5$ км, $d(депо,B) = 4$ км, $d(A,B) = 3$ км

$Savings(A,B) = 5 + 4 - 3 = 6$ км

Фаза 2: Улучшение решения локальным поиском

Применяются операторы:

- перестановка двух ребер в маршруте
- обмен двух клиентов между маршрутами
- перемещение клиента в другой маршрут

Код алгоритма на Python:

```
solution = ClarkeWright()
best_solution = solution
for iteration in range(max_iterations):
    candidate = LocalSearch(solution)
    if Cost(candidate) < Cost(best_solution):
        best_solution = candidate
    solution = candidate
return best_solution
```

Результаты и обсуждение

Для тестирования алгоритма использованы:

- Синтетические данные, имитирующие реальные условия города
- 50 клиентов, равномерно распределенных на площади 20×20 км
- Депо расположено в центре (10,10)
- Грузоподъемность транспортных средств: 500 кг

- Временные окна: 8:00-18:00

Сравнительный анализ

Проведено сравнение трех алгоритмов:

1. Базовый: метод "ближайшего соседа"
2. Эвристический: метод Кларка-Райта
3. Предложенный: комбинированный алгоритм

Визуализация результатов

Общий пробег (км)

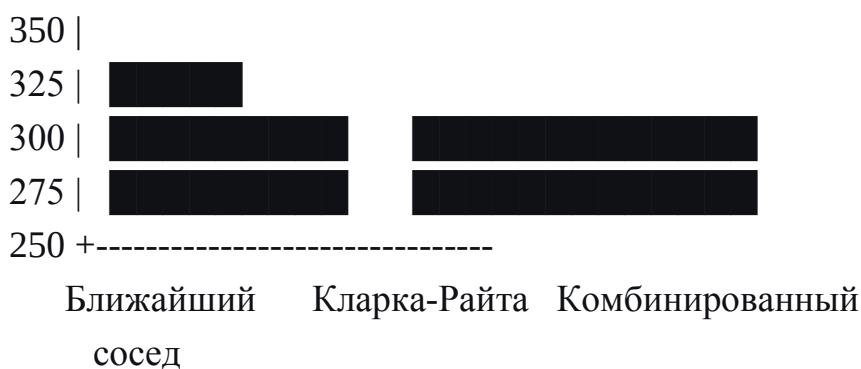


Рисунок 1 – Сравнение эффективности алгоритмов

Общий пробег (км)

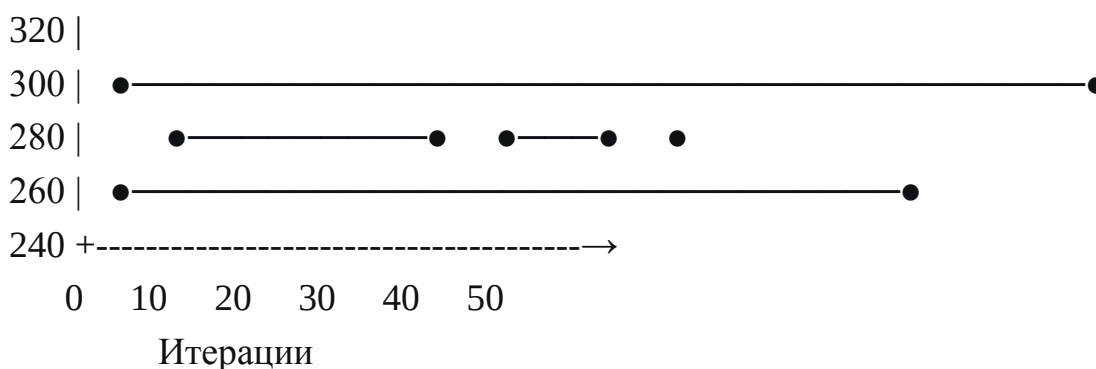


Рисунок 2– Сходимость комбинированного алгоритма

Анализ маршрутов

Пример построенных маршрутов:

Маршрут 1 (комбинированный алгоритм):

Депо → Клиент 15 → Клиент 23 → Клиент 41 → Клиент 8 → Депо

Общий пробег: 42,3 км

Загрузка: 485 кг

Маршрут 2 (метод ближайшего соседа):

Депо → Клиент 15 → Клиент 8 → Клиент 41 → Клиент 23 → Депо

Общий пробег: 51,7 км

Загрузка: 485 кг

Обсуждение результатов

Предложенный комбинированный алгоритм показал следующие преимущества:

- Сокращение пробега на 17,3% по сравнению с базовым методом
- Уменьшение количества автомобилей с 8 до 7 единиц
- Улучшение утилизации транспорта с 78% до 92%
- Соблюдение временных окон для 98% клиентов

Наибольший эффект достигнут за счет:

- Оптимального распределения клиентов между маршрутами
- Устранения пересечений между маршрутами
- Минимизации холостых пробегов

Заключение и перспективы развития

В ходе исследования был разработан комбинированный алгоритм оптимизации

маршрутизации доставки товаров. Алгоритм показывает существенное улучшение

основных показателей эффективности в сравнении с классическими методами.

Заключение основных результатов работы:

1. Была разработана двухфазная архитектура алгоритма, сочетающая метод Кларка-Райта

и локальный поиск

2. Реализован программный прототип, решающий задачи объемом до 100 клиентов

3. В примере была рассмотрена ситуация улучшения эффективности алгоритма на

тестовых данных – результатом стало сокращение пробега на 17,3%

4. Было проведено исследование на подтверждена практической применимость и эффективности алгоритма для задач логистических компаний

Перспективы дальнейших исследований:

Может использоваться для учета динамических факторов, также можно в дальнейшем

улучшить функционал интеграцией с API картографических сервисов. Полезно для учета

пробок в реальном времени. Мониторинг и корректировка маршрутов для адаптации к

дорожной ситуации.

Расширение функциональности:

- Неоднородный парк транспортных средств
- Многодневное планирование

Улучшение алгоритмической эффективности

- Распараллеливание вычислений
- Машинное обучение для прогнозирования времени доставки

Интеграция с бизнес-процессами

- Разработка API для подключения к CRM-системам
- Создание веб-интерфейса для диспетчеров
- Мобильное приложение для курьеров

Разработанный алгоритм может стать основой для создания коммерческой системы управления доставкой, позволяющей логистическим компаниям существенно повысить операционную эффективность и снизить затраты.

Список литературы

1. Афанасьев М.Ю., Бойко А.А. Модели и методы решения задач маршрутизации транспортных средств // Логистика и управление цепями поставок. – 2020. – № 4(93). – С. 34-48.
2. Григорьев И.В., Соколов Р.В. Алгоритмы оптимизации маршрутов доставки в городской логистике // Транспортные системы. – 2021. – № 2(45). – С. 56-67.
3. Иванов С.П., Петрова Е.В. Современные подходы к решению задачи VRP с временными окнами // Автоматика и телемеханика. – 2019. – № 8. – С. 112-125.
4. Козлов В.В., Сидоров А.Н. Интеллектуальные системы управления доставкой товаров. – М.: Издательство МГТУ, 2018. – 256 с.
5. Орлов А.И. Теория принятия решений в транспортных системах. – СПб.: Питер, 2017. – 320 с.
6. Петров К.А. Методы комбинаторной оптимизации в логистике. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 184 с.
7. Семенов В.В., Федорова М.А. Эвристические алгоритмы для задач маршрутизации // Информационные технологии. – 2022. – № 3. – С. 45-58.
8. Laporte G. Fifty Years of Vehicle Routing // Transportation Science. – 2009. – Vol. 43. – P. 408-416.
9. Potvin J.-Y. State-of-the-Art Review—Evolutionary Algorithms for Vehicle Routing // INFORMS Journal on Computing. – 2009. – Vol. 21. – P. 518-548.
10. Solomon M.M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints // Operations Research. – 1987. – Vol. 35. – P. 254-265.
11. Toth P., Vigo D. (eds.) The Vehicle Routing Problem. – Philadelphia: SIAM, 2002. – 355 p.
12. Vidal T., Crainic T.G., Gendreau M., Prins C. Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: A survey and synthesis // European Journal of Operational Research. – 2013. – Vol. 231(1). – P. 1-21.

References

1. Afanasiev M.Yu., Boyko A.A. Models and methods for solving vehicle routing problems // Logistics and supply chain management. – 2020. – No. 4(93). – P. 34-48.

2. Grigoriev I.V., Sokolov R.V. Algorithms for optimizing delivery routes in urban logistics // Transport systems. – 2021. – No. 2(45). – P. 56-67.
3. Ivanov S.P., Petrova E.V. Modern approaches to solving VRP with time windows // Automation and remote control. – 2019. – No. 8. – P. 112-125.
4. Kozlov V.V., Sidorov A.N. Intelligent goods delivery management systems. – M.: MGTU Publishing House, 2018. – 256 p.
5. Orlov A.I. Decision theory in transport systems. – SPb.: Piter, 2017. – 320 p.
6. Petrov K.A. Methods of combinatorial optimization in logistics. – M.: INFRA-M, 2020. – 184 p.
7. Semenov V.V., Fedorova M.A. Heuristic algorithms for routing problems// Information technologies. – 2022. – No. 3. – P. 45-58.
8. Dantzig G.B., Ramser J.H. The Truck Dispatching Problem // Management Science. – 1959. – Vol. 6. – P. 80-91.
9. Laporte G. Fifty Years of Vehicle Routing // Transportation Science. – 2009. – Vol. 43. – P. 408-416.
11. Solomon M.M. Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints // Operations Research. – 1987. – Vol. 35. – P. 254-265.
12. Toth P., Vigo D. (eds.) The Vehicle Routing Problem. – Philadelphia: SIAM, 2002. – 355 p.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ

С.Н. Волкова

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

В работе рассматриваются угрозы безопасности облачных хранилищ (утечки, несанкционированный доступ) и сравниваются традиционные методы защиты (шифрование, аутентификация) с инновациями: блокчейн для децентрализации и ИИ для проактивного мониторинга. Подчеркивается необходимость интеграции подходов, организационных мер и экономических вложений для минимизации рисков.

Ключевые слова: облачное хранилище, защита данных, обеспечение безопасности, угрозы безопасности, шифрование, аутентификация, несанкционированный доступ.

ANALYSIS OF DATA FOR FORECASTING SALES BY THE MOVING AVERAGE METHOD

S.N. Volkova

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

The work examines threats to the security of cloud storage (leaks, unauthorized access) and compares traditional protection methods (encryption, authentication) with innovations: blockchain for decentralization and AI for proactive monitoring. The necessity of integrating approaches, organizational measures, and economic investments to minimize risks is emphasized.

Key words: cloud storage, data protection, security, security threats, encryption, authentication, and unauthorized access.

В современном мире, наполненном цифровыми данными, облачные хранилища становятся основными хранилищами информации, что делает их мишенью для различных угроз. Основные типы угроз для облачных хранилищ включают утечки данных и несанкционированный доступ. Эти аспекты оказы-

вают значительное влияние на безопасность и надежность данных, хранящихся в облачных системах.

Утечки данных, как правило, происходят из-за ошибок в конфигурации систем безопасности, что позволяет злоумышленникам получать доступ к конфиденциальной информации. Например, в 2021 году утечка данных из популярного облачного сервиса была вызвана неправильной настройкой доступа к файлам, что привело к компрометации личных данных миллионов пользователей. Такие утечки — тревожный сигнал: если не следить за тем, кто и что видит в облаке, рано или поздно данные окажутся не там, где нужно. Политика конфиденциальности и регулярная проверка прав доступа — это не бюрократия, а базовая гигиена информационной безопасности.

Особенно уязвимы системы, для входа в которые достаточно одного пароля. Исследование McAfee, проведенное в 2020 году, показало, что более 70% компаний защищали свои облачные сервисы только паролем. Для злоумышленников это все равно что оставить дверь нараспашку — особенно когда фишинговые атаки стали массовыми. Выход один: включать многофакторную аутентификацию (MFA) везде, где это возможно, и не забывать обновлять устаревшие протоколы, такие как TLS 1.0 или старые версии OAuth.

Но даже самая надёжная техническая защита рушится из-за человека. Сотрудник, использующий пароль «123456» для корпоративного облака, или коллега, отправивший ссылку на внутренний документ «для удобства», — вот настоящие слабые места. Поэтому обучение персонала — это не формальность, которую можно провести раз в году, а постоянная работа. Без неё любые инвестиции в безопасность могут пойти насмарку. Изучение реальных случаев показывает, что угрозы облачным хранилищам эволюционируют, и трудность их выявления часто связана с высокой степенью интеграции этих технологий в повседневную жизнь. На фоне растущей сложности кибертехнологий, адекватные меры предосторожности, такие как шифрование данных и мониторинг сети, приобретают особую актуальность.

Чтобы надёжно защитить информацию в условиях постоянно меняющихся киберугроз, недостаточно полагаться только на технические средства. Важно вкладывать средства в обучение пользователей и подготовку персонала. Только комплексный подход, сочетающий в себе технологии, грамотную организацию процессов и осведомлённость людей, позволяет создать устойчивую систему безопасности и снизить риски утечки данных или несанкционированного доступа.

Основу защиты по-прежнему составляют проверенные методы: шифрование, аутентификация и контроль доступа. Шифрование преобразует данные в нечитаемый вид, делая их бесполезными без соответствующего ключа. Аутентификация подтверждает личность пользователя или системы, гарантируя, что доступ получит только тот, кто действительно имеет на это право. Контроль доступа, в свою очередь, определяет, какие именно действия разрешены каждому пользователю в зависимости от его роли.

Несмотря на свою эффективность, эти методы имеют слабые места. Например, даже самое надёжное шифрование становится бесполезным, если злоумышленник получает доступ к ключам. Кроме того, шифрование и расшифровка требуют дополнительных вычислительных ресурсов, что может замедлять работу систем.

Многофакторная аутентификация значительно повышает уровень защиты, но и она не гарантирует полной безопасности. Фишинг и другие методы социальной инженерии часто позволяют обойти даже сложные схемы проверки подлинности, особенно если пользователь не умеет распознавать угрозы.

Контроль доступа тоже не лишён недостатков. Настройка политик безопасности — непростая и трудоёмкая задача. Ошибки в конфигурации легко могут привести к тому, что пользователи получают больше прав, чем им действительно нужно. Такие избыточные привилегии становятся лазейками для злоумышленников, которые используют их для продвижения внутри системы.

Особенно остро эти проблемы проявляются при столкновении с такими угрозами, как АРТ (продвинутые постоянные угрозы). Такие атаки проводятся скрытно, методично и могут длиться месяцами. Они часто обходят даже самые строгие технические барьеры, используя человеческий фактор и недочёты в настройке систем.

Поэтому сегодня недостаточно просто поддерживать существующие механизмы — их нужно дополнять новыми решениями. Среди перспективных технологий особого внимания заслуживают блокчейн и искусственный интеллект.

Блокчейн — это децентрализованная структура, в которой данные записываются в связанные между собой блоки. Изменить такую запись практически невозможно без согласия большинства участников сети. Благодаря криптографической защите и прозрачности блокчейн может стать надёжной основой для хранения критически важной информации. Например, в банковской сфере он может повысить доверие к транзакциям и снизить риск мошенничества.

Искусственный интеллект, в свою очередь, помогает выявлять аномалии и подозрительную активность в режиме реального времени. Системы на основе машинного обучения анализируют поведение пользователей и сетевой трафик, выявляя отклонения, которые человек может упустить. Это позволяет обнаруживать угрозы на ранних стадиях — ещё до того, как они нанесут ущерб.

Таким образом, будущее кибербезопасности — за сочетанием традиционных методов, новых технологий и постоянного повышения квалификации людей, работающих с информацией. Только такой подход способен противостоять современным и будущим вызовам.

Если сравнивать блокчейн и ИИ с привычными инструментами вроде антивирусов или брандмауэров, разница бросается в глаза. Старые решения работают по чёткому принципу: «увидел угрозу — заблокировал». Они отлично справляются с известными вирусами или атаками, но беспомощны перед всем новым. Блокчейн и искусственный интеллект устроены иначе: они не ждут, пока что-то сломается, а пытаются предугадать проблему до того, как она возникнет.

Но не всё так гладко. Блокчейн, например, требует огромных вычислительных мощностей. Запись каждого обращения к файлу в распределённый реестр — звучит надёжно, но на практике это может в разы увеличить нагрузку на систему и счёт за облачные ресурсы. А ИИ, несмотря на всю свою «умность», легко ввести в заблуждение недостоверными данными. Если модель обучалась на искажённой или неполной информации, она начнёт видеть угрозы там, где их нет, или, наоборот, пропустит настоящую атаку. Так что и здесь без критического подхода не обойтись.

Несмотря на недостатки, блокчейн и искусственный интеллект уже сегодня приносят реальную пользу. Они не просто добавляют ещё один уровень защиты — они меняют сам подход: вместо того чтобы латать дыры после атак, мы начинаем создавать системы, которые умеют «чувствовать» угрозу заранее. И хотя ни одна технология не даёт стопроцентной гарантии, вместе они открывают новые возможности для защиты данных — особенно в условиях, когда угрозы становятся всё более изощрёнными.

Но полагаться только на новинки — опасная иллюзия. Настоящая безопасность рождается там, где проверенные решения работают в паре с инновациями. Например, шифрование данных — технология не новая, но в сочетании с ИИ, который отслеживает подозрительные попытки доступа, она становится гораздо эффективнее. То же касается многофакторной аутентификации: сама по

себе она надёжна, но если добавить к ней поведенческий анализ (когда система замечает, что пользователь вдруг начал скачивать файлы в 3 часа ночи с нового устройства), шансы пропустить злоумышленника резко снижаются.

Внедрение таких гибридных решений — непростая задача. Тот же блокчейн для регистрации событий безопасности звучит круто, но на практике требует чёткого понимания, какие именно события нужно записывать, как хранить цепочку и кто будет всё это отслеживать. А главное — нужны люди, которые в этом разбираются. Без команды, способной быстро реагировать на аномалии и принимать решения в стрессовой ситуации, даже самая умная система окажется бесполезной.

Важным шагом на пути к повышению безопасности является интеграция инноваций в существующие ИТ-архитектуры с минимальными затратами. Разработка гибридных решений, находящих баланс между защитой и производительностью, позволит организациям не только защитить данные, но и оптимально использовать ресурсы. Следовательно, реализация мер по защите данных должна учитывать экономические аспекты, чтобы не перегрузить бюджет компании. Экономические соображения играют ключевую роль в принятии решений относительно безопасности, особенно в контексте облачных технологий. С одной стороны, внедрение новых технологий требует значительных капиталовложений, в то время как с другой стороны, предотвратив потенциальные утечки данных, можно избежать значительных убытков. К примеру, внедрение многофакторной аутентификации может снизить риск утечки данных, но требует инвестиций в программное обеспечение и обучение сотрудников.

Сравнительный анализ затрат на различные технологии позволяет более осознанно подходить к выбору стратегии защиты. На практике это может включать использование облачных решений с внедренными сервисами безопасности, которые обычно предлагают относительно низкую стоимость по сравнению с самостоятельными разработками и внедрениями. Тем не менее, для точной оценки требуется учитывать весь жизненный цикл технологий, включая эксплуатационные расходы и возможные риски.

Некоторые компании прибегают к страхованию киберрисков как дополнительной мере, что снижает потенциальные финансовые последствия и создает дополнительный экономический стимул для вложений в безопасность. Тем не менее, необходимо помнить, что страхование не заменяет активные меры снижения рисков, а лишь служит их дополнением. Для эффективного управле-

ния безопасностью необходимо интегрировать экономические соображения в управленческие решения.

Современные управленческие стратегии играют ключевую роль в обеспечении безопасности данных, особенно в контексте облачных технологий. Эти стратегии направлены на выработку комплексного подхода к защите информации, что включает в себя не только технические, но и организационные меры. Управление информационной безопасностью требует рассмотрения множества аспектов, начиная от человеческого фактора и заканчивая интеграцией сложных технологических решений. Хорошая стратегия обеспечения безопасности начинается не с покупки дорогих систем, а с понимания того, что именно может пойти не так и что делать, если это случится. Недостаточно просто поставить «щит»; нужно заранее продумать действия на случай, если его пробьют.

Технологии сами по себе не спасут, если в компании нет чётких правил: кто к чему имеет доступ, как реагировать на подозрительный вход в систему, куда сообщать о странной ссылке в письме. Эти правила должны быть простыми, понятными и — главное — работать на практике. Регулярные тренинги (не раз в год, а по мере появления новых угроз) и реальные проверки — например, имитация фишинга — помогают держать персонал в тонусе. Особенно важно не просто назначить «ответственного за безопасность», а создать рабочую группу, которая сможет ночью поднять тревогу, отключить угрозу и запустить восстановление. В 2023 году компании, у которых такая команда была готова к действиям, в среднем сократили ущерб от атак почти на 40 % (по данным IBM).

Но самое главное — это культура. Когда сотрудники не боятся сообщить, что «нажали на ссылку», а считают защиту данных частью своей работы, половина дела уже сделана. Безопасность — это не функция ИТ-отдела. Это привычка всей организации. Дополнительно, проведение аудитов и оценка рисков помогают своевременно выявлять слабые места в системе безопасности. Расширение знаний в области кибербезопасности позволяет поддерживать высокий уровень защиты данных и уменьшает вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором.

В ходе исследования выявлены основные угрозы, с которыми могут столкнуться пользователи облачных хранилищ. Среди них были выделены атаки типа man-in-the-middle, проникновение злоумышленников в систему, а также нарушение конфиденциальности данных. Проведенный анализ показал, что комбинированное использование различных методов защиты, таких как шифрование данных и многофакторная аутентификация, позволяет значительно по-

высить уровень безопасности. Кроме того, особое внимание уделено вопросу управления доступом. К примеру, внедрение ролевой модели управления, где каждый пользователь имеет четко определенные права доступа, значительно снижает риск несанкционированного доступа. Этот подход позволяет создавать более контролируруемую среду, в которой безопасность данных становится приоритетом.

Подчеркивается важность постоянного развития в сфере кибербезопасности и адаптации существующих методов к новым вызовам. Всесторонний подход, основанный на комбинировании технологий и стратегий, способен успешно противостоять изменяющимся угрозам. Модернизация программного обеспечения и обучение пользователей являются обязательными мерами для поддержания высокого уровня защиты.

Следовательно, важно не только разработать эффективные технологии, но и обеспечить их устойчивое внедрение в повседневную практику. Развитие программ повышения осведомленности пользователей о киберугрозах и инструментах защиты необходимо интегрировать в стратегию безопасности.

Список литературы

1. Тимофеев А. Н. Основы защиты информации. — М.: Изд-во МГУ, 2019. — 456 с.
2. Петров Б. Ю. Информационная безопасность в облаке: вызовы и решения. — СПб.: Наука, 2020. — 379 с.
3. Сидоров В. Л. Облачные технологии и их защита. — Екатеринбург: Урал, 2021. — 312 с.
4. Иванов Д. И. Эволюция технологий шифрования // Журнал кибербезопасности. — 2022. — Т. 15, № 4. — С. 12-23.
5. Сергеев К. А. Роль искусственного интеллекта в безопасности данных // Информационные технологии. — 2021. — Т. 12, № 2. — С. 34-47.
6. Николаев С. П. Блокчейн как технология защиты информации // Международный журнал информационной безопасности. — 2020. — Т. 18, № 7. — С. 56-68.

References

1. Timofeev A. N. Fundamentals of Information Security. — Moscow: Moscow State University Press, 2019. — 456 p.
2. Petrov B. Yu. Information Security in the Cloud: Challenges and Solutions. — St. Petersburg: Nauka, 2020. — 379 p.
3. Sidorov V. L. Cloud Technologies and Their Protection. — Yekaterinburg: Ural, 2021. — 312 p.
4. Ivanov D. I. Evolution of Encryption Technologies // Journal of Cybersecurity. — 2022. — Vol. 15, No. 4. — P. 12-23.
5. Sergeev K. A. The Role of Artificial Intelligence in Data Security // Information Technologies. — 2021. — Vol. 12, No. 2. — P. 34-47.
6. Nikolaev S. P. Blockchain as a Technology for Protecting Information // International Journal of Information Security. — 2020. — Vol. 18, No. 7. — P. 56-68.

КЛАССИЧЕСКИЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В МОДЕЛИ ОТТАЛКИВАНИЯ С РАДИАЦИОННЫМ ТРЕНИЕМ ТОЧЕЧНЫХ ЗАРЯДОВ

А.С. Дубровин, В.И. Сумин

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

В работе представлен с использованием методологии классического гармонического системного анализа в рамках физической концепции дальнего действия способ математического моделирования сложной нелинейной физической системы с двумя взаимно отталкивающимися тривиальными подсистемами в виде заряженных материальных точек, которые при отталкивании испытывают радиационное трение за счет потери энергии на излучение. Приведенные результаты расчетов подтверждают работоспособность предложенного подхода.

Ключевые слова: системный анализ, обработка информации, сложная система, гармонический анализ, ряды Фурье, модель отталкивания, дальнее действие, радиационное трение, заряженная материальная точка, точечный заряд.

CLASSICAL HARMONIC SYSTEMS ANALYSIS AND INFORMATION PROCESSING IN THE REPULSION MODEL WITH RADIATIVE FRICTION OF POINT CHARGES

A.S. Dubrovin, V.I. Sumin

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

The paper presents a method for mathematically modeling a complex nonlinear physical system using classical harmonic system analysis within the physical concept of action at a distance. The system consists of two mutually repulsive trivial subsystems, each consisting of charged material point. These particles, when repelled, experience radiative friction due to energy loss through radiation. The presented calculation results confirm the viability of the proposed approach.

Keywords: systems analysis, information processing, complex system, harmonic analysis, Fourier series, repulsion model, action at a distance, radiative friction, charged material point, point charges.

Методы системного анализа, развиваемые авторами настоящей статьи применительно к сложным системам различной природы и назначения (в частности, к сложным организационным системам, моделируемым в [1, 2]), имеют достаточно универсальный, всеобъемлющий характер и распространяются в том числе на организационно-технические и технические сложные системы, а также на физические сложные системы, физические процессы в которых аналогичны физическим процессам в соответствующих организационно-технических и технических сложных системах (такая физическая сложная система моделировалась в [3, 4]). Впервые эта физическая сложная система с дальнодействующим отталкиванием ее подсистем рассмотрена в [3]. Соответствующее системное моделирование достаточно полно проведено в [4]. На примере математического моделирования этой сложной системы в работах [3, 4] заложены теоретические основы нового направления системного анализа – классического гармонического системного анализа, интегрирующего методы системного анализа с методами классического гармонического анализа.

Цель настоящей статьи состоит в представлении с использованием методологии классического гармонического системного анализа в рамках физической концепции дальнодействия способа математического моделирования с соответствующей обработкой информации при этом моделировании применительно к сложной нелинейной физической системе с двумя взаимно отталкивающимися тривиальными подсистемами в виде заряженных материальных точек (ЗМТ) или, иначе говоря, обладающих массой точечных зарядов (ТЗ), которые при таком отталкивании испытывают радиационное трение за счет энергетических потерь на излучение.

В рамках физической концепции дальнодействия сила радиационного трения дается не теоретико-полевой формулой Лоренца-Абрагама-Дирака или родственных ей, а формулой Лоренца. В простейшем случае одинаковых ТЗ они обладают единой массой m , единым зарядом Q , единым (с учетом радиационного трения) начальным ускорением $R_2 = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}(-a)$, описываются единой динамической переменной (зависимость модуля радиус-вектора, измеряемого в световых секундах, от времени $t \in [-a, a]$, где $a = T/2 > 0$, $T > 0$, измеряемого в

секундах) r без учета радиационного трения и r_0 с его учетом, который дает поправку $\theta \equiv r_0 - r$. Использование световых секунд (с.с.) приводит к единичной скорости света в вакууме и пересчитанной электрической постоянной $\bar{\varepsilon}_0 = c^3 \varepsilon_0$ с.с. $^{-3}$ кг $^{-1}$ с ^{4} А ^{2} , где c , ε_0 – исходные (в СИ) постоянная скорости света и электрическая постоянная. Зависимость между зарядом ТЗ Q и его массой m параметризуется числовым параметром $\theta = 6\pi\bar{\varepsilon}_0 m/Q^2$. Дифференциальные уравнения динамики данной сложной системы с учетом радиационного трения и без него имеют соответственно вид [4]:

$$(\theta \frac{d}{dt} - \frac{1}{r})r^2 = 0,375; \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}r_0^2 = 0,375/\theta. \quad (2)$$

Зависимость между начальным ускорением ТЗ $R_2 = \frac{d}{dt}r(-a)$ для дифференциального уравнения (1) и начальным ускорением ТЗ $\frac{d}{dt}r_0(-a)$ для дифференциального уравнения (2) параметризуется числовым параметром

$$\xi = R_2 / \frac{d}{dt}r_0(-a) \in (0;1).$$

Для проведения вычислительного эксперимента зададим задачи Коши для дифференциальных уравнений (1), (2) соответственно следующим образом:

$$r(-a) = R_0/2 = 1, \frac{d}{dt}r(-a) = 0, \frac{d}{dt}r_0(-a) = R_2 = \xi \frac{d}{dt}r_0(-a) = \xi C_0/r_0^2(-a) = 0,3; \quad (3)$$

$$r_0(-a) = R_0/2 = 1, \frac{d}{dt}r_0(-a) = 0. \quad (4)$$

Классический гармонический системный анализ проводится для задач Коши (1), (3) и (2), (4) при исходных данных, которые задают цель данной сложной системы в виде минимальных $r_{\min} \in [0, +\infty]$, $v_{\min} \in [0, +\infty]$ и максимальных $r_{\max} \in [0, +\infty]$, $v_{\max} \in [0, +\infty]$ значений приемлемого варьирования модулей радиус-векторов и скоростей ТЗ соответственно в пределах их целевых диапазонов. При таких исходных данных своевременность (за промежуток времени, не превышающий T) достижения системой своей цели с учетом и без учета радиационного трения или, иначе говоря, для задач Коши (1), (3) и (2), (4) определяется соответственно следующими булевозначными характеристиками:

$$\Psi = \Psi(r_{\min}, r_{\max}, v_{\min}, v_{\max}) = (r(a) \in (r_{\min}, r_{\max})) \wedge (\frac{d}{dt}r(a) \in (v_{\min}, v_{\max})), \quad (5)$$

$$\bar{\Psi} = \bar{\Psi}(r_{\min}, r_{\max}, v_{\min}, v_{\max}) = (r_0(a) \in (r_{\min}, r_{\max})) \wedge (\frac{d}{dt}r_0(a) \in (v_{\min}, v_{\max})). \quad (6)$$

Для приближенной оценки величин $r(a)$, $\frac{d}{dt}r(a)$, входящих в выражение (5) и величин $r_0(a)$, $\frac{d}{dt}r_0(a)$, входящих в выражение (6), используется, согласно

[4], метод быстрых разложений для приближенного решения задач Коши (1), (3) и (2), (4) соответственно, в виде быстрых разложений $\hat{r}_{pN}(t) \approx r(t)$, $\hat{r}_{0pN}(t) \approx r_0(t)$, где p – порядок полиномиальной граничной функции быстрого разложения, N – номер последнего члена ряда Фурье быстрого разложения. Для производных любого порядка $n = \overline{0, +\infty}$ действуют следующие очевидные аппроксимации: $\hat{r}_{pN}^{(n)} \approx r^{(n)}$, $\hat{r}_{0pN}^{(n)} \approx r_0^{(n)}$, $\hat{r}_{pN}^{(n)} \equiv \hat{r}_{0pN}^{(n)} - \hat{r}_{pN}^{(n)} \approx \rho^{(n)}$.

Третий порядок дифференциального уравнения (1) регламентирует использование быстрых разложений с выполнением условия $p \geq 3 \times 2 = 6$, $N \geq 1$. Стремление к максимальной простоте вычислений с одновременным выполнением указанного условия дает требуемые для этого характеристики быстрых разложений: $p = 6$, $N = 1$. Тем самым, используются быстрые разложения $\hat{r}_{61}(t) \approx r(t)$, $\hat{r}_{061}(t) \approx r_0(t)$ и их производные $\hat{r}_{61}^{(n)} \approx r^{(n)}$, $\hat{r}_{061}^{(n)} \approx r_0^{(n)}$, $\hat{r}_{61}^{(n)} \equiv \hat{r}_{061}^{(n)} - \hat{r}_{61}^{(n)} \approx \rho^{(n)}$. Классический гармонический системный анализ при этом направлен на получение сначала каузальных числовых характеристик $\hat{r}_{61}(a)$, $\hat{\rho}_{61}(a)$, $\hat{r}_{061}(a)$, $\hat{\rho}_{061}(a)$ модели сложной системы, а затем зависящих от них аксиологических характеристик Λ_{61} , $\bar{\Lambda}_{61}$ этой модели, соответствующих целевым характеристикам Ψ , $\bar{\Psi}$ сложной системы, которые вычисляются с использованием индикаторной функции $\mathbf{1}(\bullet)$ следующим образом:

$$\Lambda_{61} = \Lambda_{61}(r_{\min}, r_{\max}, v_{\min}, v_{\max}) = \mathbf{1}_{(r_{\min}, r_{\max})}(\hat{r}_{61}(a)) \mathbf{1}_{(v_{\min}, v_{\max})}(\hat{\rho}_{61}(a)), \quad (7)$$

$$\bar{\Lambda}_{61} = \bar{\Lambda}_{61}(r_{\min}, r_{\max}, v_{\min}, v_{\max}) = \mathbf{1}_{(r_{\min}, r_{\max})}(\hat{r}_{061}(a)) \mathbf{1}_{(v_{\min}, v_{\max})}(\hat{\rho}_{061}(a)). \quad (8)$$

В развернутом виде (с подробной записью удерживаемых членов рядов Фурье и используемых полиномиальных граничных функций с их быстрыми полиномами) быстрые разложения $\hat{r}_{61}(t)$, $\hat{r}_{061}(t)$ записываются, как функции времени t с десятью независимыми параметрами каждое (A_q , $q = \overline{0, 6}$, a_0 , a_1 , b_1 для $\hat{r}_{61}(t)$ и A_{0q} , $q = \overline{0, 6}$, a_{00} , a_{01} , b_{01} для $\hat{r}_{061}(t)$) в следующем виде:

$$\begin{aligned} \hat{r}_{61}(t) = & A_0 \frac{t}{2a} + A_1 \frac{t^2}{4a} + A_2 \left(\frac{t^3}{12a} - \frac{at}{12} \right) + A_3 \left(\frac{t^4}{48a} - \frac{at^2}{24} \right) + \\ & + A_4 \left(\frac{t^5}{240a} - \frac{at^3}{72} + \frac{7a^3t}{720} \right) + A_5 \left(\frac{t^6}{1440a} - \frac{at^4}{288} + \frac{7a^3t^2}{1440} \right) + \\ & + \frac{A_6}{1440} \left(\frac{t^7}{7a} - at^5 + \frac{7a^3t^3}{3} - \frac{31a^5t}{21} \right) + a_0 + a_1 \cos \frac{\pi t}{a} + b_1 \sin \frac{\pi t}{a} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \hat{r}_{061}(t) = & A_{00} \frac{t}{2a} + A_{01} \frac{t^2}{4a} + A_{02} \left(\frac{t^3}{12a} - \frac{at}{12} \right) + A_{03} \left(\frac{t^4}{48a} - \frac{at^2}{24} \right) + \\ & + A_{04} \left(\frac{t^5}{240a} - \frac{at^3}{72} + \frac{7a^3t}{720} \right) + A_{05} \left(\frac{t^6}{1440a} - \frac{at^4}{288} + \frac{7a^3t^2}{1440} \right) + \\ & + \frac{A_{06}}{1440} \left(\frac{t^7}{7a} - at^5 + \frac{7a^3t^3}{3} - \frac{31a^5t}{21} \right) + a_{00} + a_{01} \cos \frac{\pi t}{a} + b_{01} \sin \frac{\pi t}{a} \end{aligned} \quad (10)$$

Значения всех двадцати параметров быстрых разложений (9), (10) находятся, как решение системы двадцати нелинейных алгебраических уравнений, регламентируемой методом быстрых разложений. Полученные в результате двадцать чисел однозначно определяют данные быстрые разложения, как функции времени t . Шестикратным дифференцированием быстрых разложений (9), (10) с найденными значениями всех двадцати параметров последовательно получают производные $\hat{r}_{61}^{(s)}(t)$, $\hat{r}_{061}^{(s)}(t)$, $s = \overline{0,6}$. При $t = a$ эти производные представляют собой основные каузальные характеристики $\hat{r}_{61}^{(s)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(s)}(a)$, $s = \overline{0,6}$ модели сложной системы. Производные $\hat{l}_{61}^{(s)}(t) \equiv \hat{r}_{061}^{(s)}(t) - \hat{r}_{61}^{(s)}(t)$, $s = \overline{0,6}$ функции поправки $\hat{l}_{61}(t)$ вычисляются, как разности соответствующих производных. При $t = a$ эти производные представляют собой дополнительные каузальные характеристики $\hat{l}_{61}^{(s)}(a)$, $s = \overline{0,6}$, значения которых, впрочем, не требуется для нахождения аксиологических характеристик Λ_{61} , $\bar{\Lambda}_{61}$ модели сложной системы по формулам (7), (8), как не требуется и знания основных каузальных характеристик $\hat{r}_{61}^{(s)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(s)}(a)$, $s = \overline{2,6}$ в отличие от $\hat{r}_{61}^{(s)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(s)}(a)$, $s = \overline{0,1}$, знание которых для нахождения указанных аксиологических характеристик необходимо наряду со знанием исходных данных системного анализа $r_{\min}$, $r_{\max}$, $v_{\min}$, $v_{\max}$.

Траектории тривиальных подсистем сложной системы, показывающие ее динамику, наглядно представлены на рисунке 1, где по оси абсцисс откладыва-

ется время t , а по оси ординат – модуль радиус-вектора ТЗ, который в случае наличия учета радиационного трения обозначается через r и аппроксимируется быстрым разложением $\hat{r}_{61}(t)$ (средняя кривая синего цвета) по формуле (9), а в случае отсутствия учета радиационного трения обозначается через r_0 и аппроксимируется быстрым разложением $\hat{r}_{061}(t)$ (верхняя кривая красного цвета) по формуле (10). Нижняя кривая зеленого цвета на этом рисунке является графиком функции $\hat{l}_{61}(t)$ и демонстрирует влияние силы радиационного трения.

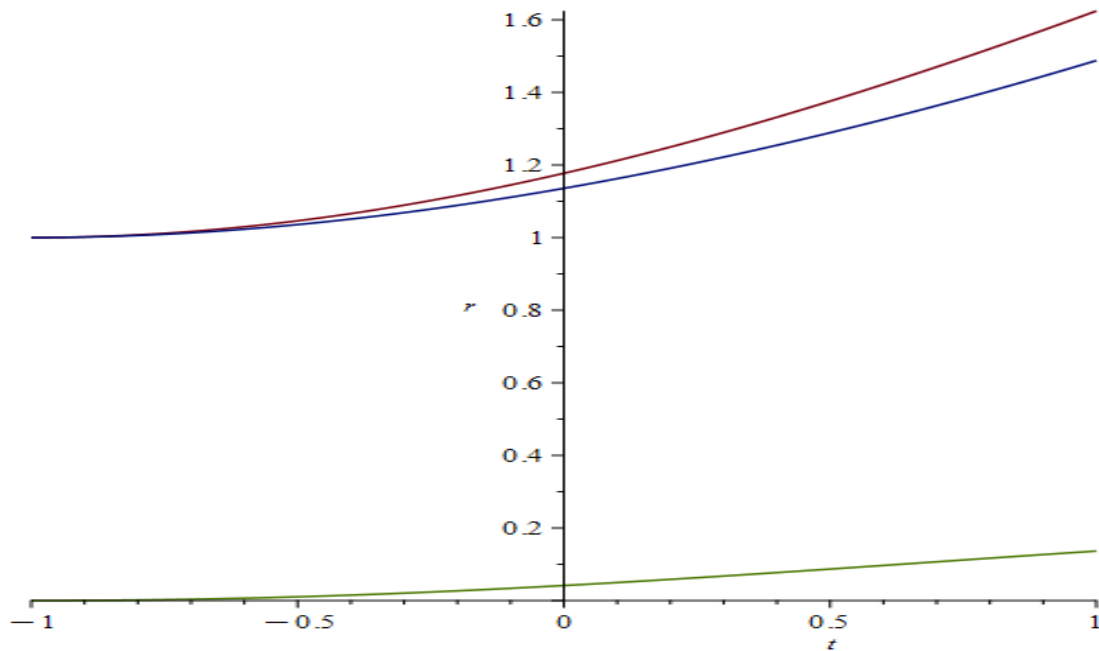


Рисунок 1 – Траектории тривиальных подсистем сложной системы

Каузальные характеристики модели сложной системы, полученные в результате проведения вычислительного эксперимента, представлены в таблице 1. В верхней части этой таблицы представлены следующие основные каузальные характеристики для случая наличия учета радиационного трения: $\hat{r}_{61}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(1)}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(2)}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(3)}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(4)}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(5)}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(6)}(a)$ (обозначения – во второй строке, а численные значения – в третьей). В первой строке этой таблицы приведены обозначения системных характеристик сложной системы, соответствующих представленным каузальным характеристикам модели сложной системы: $r(a)$, $r^{(1)}(a)$, $r^{(2)}(a)$, $r^{(3)}(a)$, $r^{(4)}(a)$, $r^{(5)}(a)$, $r^{(6)}(a)$. В средней части этой таблицы представлены следующие основные каузальные характеристики для случая отсутствия учета радиационного трения: $\hat{r}_{061}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(1)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(2)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(3)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(4)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(5)}(a)$, $\hat{r}_{061}^{(6)}(a)$ (обозначения – в пятой строке, а численные значения – в

шестой). В четвертой строке этой таблицы приведены обозначения системных характеристик сложной системы, соответствующих представленным каузальным характеристикам модели сложной системы: $r_0(a)$, $\cancel{r_0(a)}$, $\cancel{\cancel{r_0(a)}}$, $\cancel{\cancel{\cancel{r_0(a)}}}$, $r_0^{(4)}(a)$, $r_0^{(5)}(a)$, $r_0^{(6)}(a)$. В нижней части этой таблицы представлены следующие дополнительные каузальные характеристики: $\hat{r}_{61}(a)$, $\cancel{\hat{r}_{61}(a)}$, $\cancel{\cancel{\hat{r}_{61}(a)}}$, $\cancel{\cancel{\cancel{\hat{r}_{61}(a)}}}$, $\hat{r}_{61}^{(4)}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(5)}(a)$, $\hat{r}_{61}^{(6)}(a)$ (обозначения – в восьмой строке, а численные значения – в девятой). В седьмой строке этой таблицы приведены обозначения системных характеристик сложной системы, соответствующих представленным каузальным характеристикам модели сложной системы: $\rho(a)$, $\cancel{\rho(a)}$, $\cancel{\cancel{\rho(a)}}$, $\cancel{\cancel{\cancel{\rho(a)}}}$, $\rho^{(4)}(a)$, $\rho^{(5)}(a)$, $\rho^{(6)}(a)$.

Аксиологические характеристики сложной системы, полученные в результате проведения вычислительного эксперимента, представлены в таблице 2. Видно, что учет радиационного трения приводит к выводу о несвоевременности достижения цели системой, хотя без такового учета вывод следовал противоположный. Тем самым, такой учет может оказаться весьма полезным.

Таблица 1 – Каузальные характеристики сложной системы

$r(a)$	$\cancel{r(a)}$	$\cancel{\cancel{r(a)}}$	$\cancel{\cancel{\cancel{r(a)}}}$	$r^{(4)}(a)$	$r^{(5)}(a)$	$r^{(6)}(a)$
$\hat{r}_{61}(a)$	$\cancel{\hat{r}_{61}(a)}$	$\cancel{\cancel{\hat{r}_{61}(a)}}$	$\cancel{\cancel{\cancel{\hat{r}_{61}(a)}}}$	$\hat{r}_{61}^{(4)}(a)$	$\hat{r}_{61}^{(5)}(a)$	$\hat{r}_{61}^{(6)}(a)$
1,488	0,441	0,170	–0,000	0,092	–0,011	–0,220
$r(a)$	$\cancel{r(a)}$	$\cancel{\cancel{r(a)}}$	$\cancel{\cancel{\cancel{r(a)}}}$	$r^{(4)}(a)$	$r^{(5)}(a)$	$r^{(6)}(a)$
$\hat{r}_{061}(a)$	$\cancel{\hat{r}_{061}(a)}$	$\cancel{\cancel{\hat{r}_{061}(a)}}$	$\cancel{\cancel{\cancel{\hat{r}_{061}(a)}}}$	$\hat{r}_{061}^{(4)}(a)$	$\hat{r}_{061}^{(5)}(a)$	$\hat{r}_{061}^{(6)}(a)$
1,624	0,537	0,143	–0,082	0,160	0,369	0,814
$\rho(a)$	$\cancel{\rho(a)}$	$\cancel{\cancel{\rho(a)}}$	$\cancel{\cancel{\cancel{\rho(a)}}}$	$\rho^{(4)}(a)$	$\rho^{(5)}(a)$	$\rho^{(6)}(a)$
$\hat{r}_{61}(a)$	$\cancel{\hat{r}_{61}(a)}$	$\cancel{\cancel{\hat{r}_{61}(a)}}$	$\cancel{\cancel{\cancel{\hat{r}_{61}(a)}}}$	$\hat{r}_{61}^{(4)}(a)$	$\hat{r}_{61}^{(5)}(a)$	$\hat{r}_{61}^{(6)}(a)$
0,137	0,096	–0,027	–0,081	0,068	0,380	1,034

Таблица 2 – Аксиологические характеристики сложной системы

$r_{\min}$	$r_{\max}$	$v_{\min}$	$v_{\max}$	Λ_{61}	$\bar{\Lambda}_{61}$
1,5	$+\infty$	0,5	$+\infty$	0	1

Таким образом, приведенные результаты (рисунок 1, таблица 1, таблица 2) расчетов, проведенных в ходе вычислительного эксперимента, подтверждают работоспособность предложенного подхода.

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.
2. Сумин, В.И. Разработка математической модели оптимизации процесса обучения курсантов силовых структур в высших учебных заведениях как сложной системы / В.И. Сумин, А.С. Дубровин, С.В. Родин, В.К. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 70-78.
3. 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.
4. 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.

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. – V. 17, No. 4. – pp. 77-83.
2. Sumin, V.I. Development of a mathematical model for optimizing the process of training cadets of law enforcement agencies in higher educational institutions as a complex system / V.I. Sumin, A.S. Dubrovin, S.V. Rodin, V.K. Zolnikov // Modeling of systems and processes. – 2023. – V. 16, No. 3. – pp. 70-78.
3. Dubrovin, A.S. Harmonic system analysis and information processing in the long-range model of mutually repulsive point charges / A.S. Dubrovin // Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia. – 2023. – No. 2. – pp. 42-49.
4. Dubrovin, A.S. Systemic modeling of repulsion with radiative friction of point charges based on classical harmonic analysis / A.S. Dubrovin, V.I. Sumin, A.S. Kravchenko // Economics. Information technologies. – 2025. – V. 52, No. 3. – pp. 623-641.

УЧЕТ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ AGV ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ НА СКЛАДЕ

С.А. Евдокимова¹, Т.П. Новикова²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

В статье рассматривается задача построения оптимального маршрута движения устройств AGV на складе по критерию минимизации времени перемещения. Во время движения автоматических тележек могут возникать конфликтные ситуации из-за непредвиденных остановок или столкновений с препятствиями. В работе приводится математическая формулировка ограничений, которые накладываются на перемещения AGV, предотвращающие столкновения.

Ключевые слова: AGV средства, маршрут движения, математическая модель, задача оптимизации, система ограничений.

CONSIDERATION OF AGV COLLISION AVOIDANCE WHEN PLANNING A ROUTE IN A WAREHOUSE

S.A. Evdokimova¹, T.P. Novikova²

¹Voronezh State University of Engineering Technologies

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The article considers the problem of constructing an optimal route for AGV devices in a warehouse based on the criterion of minimizing travel time. Conflict situations may arise during the movement of automatic trolleys due to unforeseen stops or collisions with obstacles. The paper pro-

vides a mathematical formulation of the constraints that are imposed on AGV movements that prevent collisions.

Key words: AGV vehicles, driving route, mathematical model, optimization problem, constraint system.

Автоматически управляемые транспортные средства AGV предназначены для перемещения материалов и товаров на производстве и складах по заранее проложенным путям, они самостоятельно ориентируются в пространстве с помощью различных датчиков и систем навигации [1-4]. Их применение позволяет значительно повысить эффективность производственных и логистических процессов [5-8]. Однако при движении нескольких AGV в ограниченном пространстве возможны их остановки из-за столкновений с препятствиями или друг с другом [9, 10]. Поэтому задача учета предотвращения столкновений при планировании маршрута движения является актуальной задачей.

Целью AGV-маршрутизации является минимизация времени перемещения от начального узла к конечному [2, 6, 9]. Тогда модель оптимизации AGV-маршрутизации может быть сформулирована следующим образом:

$$\min \sum_{(s_1, s_2) \in G} (\mu_{s_1, s_2}^v \times t_{s_1, s_2}), \forall s_1, s_2 \in N, \forall v \in V \quad (1)$$

где v – индекс AGV, $v \in V$;

s – индекс узлов пространства, по которому перемещаются AGV, $s \in N$ (рисунок 1);

μ_{s_1, s_2}^v определяется как

$$\mu_{s_1, s_2}^v = \begin{cases} 1, & \text{если AGV } v \text{ проходит через путь от узла } s_1 \text{ к узлу } s_2, (s_1, s_2) \in N; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

t_{s_1, s_2} – время прохождения AGV от узла s_1 к узлу s_2 , $(s_1, s_2) \in N$.

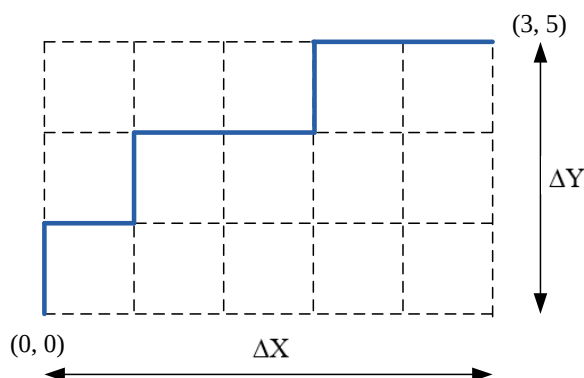


Рисунок 1 – Представление плоскости производственного помещения

Рассмотрим возможные конфликтные ситуации на пути следования AGV и математически опишем их. Конфликт узлов может возникнуть из-за того, что в узел одновременно прибывает более одного AGV (рисунок 2).

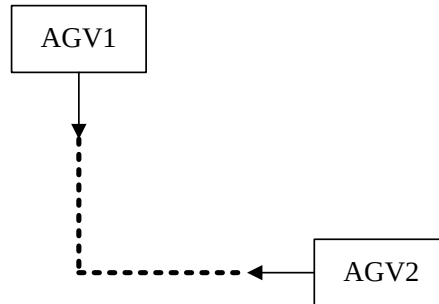


Рисунок 2 – Конфликтная ситуация – в один узел прибывают два AGV

Требование, что каждый узел может быть занят только одним AGV, запишем как:

$$\sum_{v=1}^V z_{st}^v \leq 1, \forall s \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (2)$$

где переменная z_{st}^v определяется как

$$z_{st}^v = \begin{cases} 1, & \text{если AGV } v \text{ занимает узел } s \text{ время } t; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Если двум средствам AGV требуется проехать перекресток (рисунок 3), т.е. два средства движутся по свободным дугам и дальнейшее их перемещение не приводит к конфликту, но нужно проехать общий узел, без остановок.

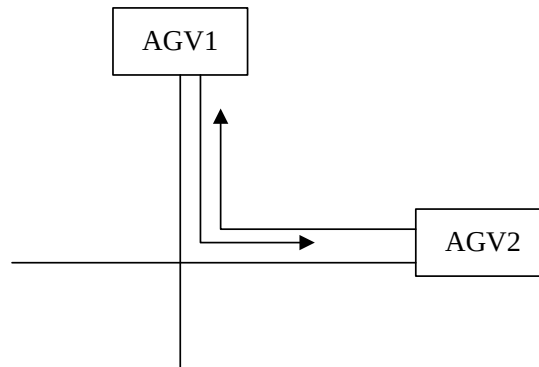


Рисунок 3 – Конфликтная ситуация на перекрестке

В этой ситуации есть два возможных варианта избежать остановки:

- одно AGV ждет другое средство AGV, не выезжая в узел;
- одно AGV изменяет путь движения, и перемещается другим маршрутом.

Пусть AGV₁ и AGV₂ подъезжают к одному узлу s_2 (рисунок 3), тогда математическая модель такой ситуации запишется как:

$$\text{если } W_{s_1 s_2 t}^{v_1} \cdot W_{s_3 s_2 t}^{v_2} = 1, \text{ то } A_{s_2 s_3 (t+t_{s_3 s_2})} = 1, \quad (3)$$

$$s_1, s_2, s_3 \in \{1, 2, \dots, N\}, s_1 \neq s_2 \neq s_3, v_1, v_2 \in \{1, 2, \dots, V\}, v_1 \neq v_2.$$

Переменные $W_{s_1 s_2 t}^v$ и $A_{s_1 s_2 t}$ определяются как

$$W_{s_1 s_2 t}^v = \begin{cases} 1, & \text{если AGV } v \text{ занимает путь } s_1 \text{ до соседнего узла } s_2 \text{ время } t, s_1 \neq s_2; \\ 0, & \text{если другие AGV проходят в другом направлении этого пути.} \end{cases}$$

$$A_{s_1 s_2 t} = \begin{cases} 1, & \text{если путь от } s_1 \text{ до соседнего узла } s_2 \text{ составляет } t, s_1 \neq s_2; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Из двух AGV, которые подъезжают к перекрестку, пусть AGV₁ находится ближе к узлу s_2 и поворачивает на соседний путь с AGV₂.

Предположим, что время, затраченное первоначальным оптимальным маршрутом на достижение конечного узла, равно t , общее время ожидания автомобиля на перекрестке равно Δt , а время, необходимое для замены неоптимального маршрута, равно t' . Неоптимальный в данной ситуации путь должен также учитывать проблему конфликта путей. Поэтому данную стратегию оптимизации пути приведем к локальной задаче оптимизации.

Оптимальное решение без учета конфликтных путей определяется как

$$t + \Delta t \geq \min[t', t'', t''', \dots, t^n], \quad (4)$$

т.е. время перемещения по новому пути должно быть меньше времени ожидания.

На новом пути также могут возникнуть конфликтные ситуации, т.е. появляется рекурсивная процедура определения наилучшего пути перемещения. Рекурсивная функция для планирования определения кратчайшего пути для AGV будет выглядеть как

$$t + \sum \Delta t \leq \min[t' + \sum \Delta t', t'' + \sum \Delta t'', t''' + \sum \Delta t''', \dots] \quad (5)$$

Предполагается, что кратчайший путь AGV от узла s к узлу s' необходимо пройти через n узлов, которые будут встречаться в процессе движения, тогда AGV столкнется не более чем с $n+1$ конфликтом путей того же типа, когда достигнет узла s' , и ему необходимо определить, следует ли каждый раз выбирать второй наилучший путь.

Следовательно, время ожидания конфликта второго наилучшего пути будет одинаково

$$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n. \quad (6)$$

Таким образом, необходимо сравнить время перемещения и время ожидания неоптимального маршрута. Если выполняется неравенство (5), то следует выбрать оптимальный маршрут; иначе – неоптимальный маршрут.

Для вида конфликтной ситуации, показанной на рисунке 4, необходимо для AGV, который первым прибудет на перекресток, изменить маршрут и найти оптимальный путь, доступный для замены.

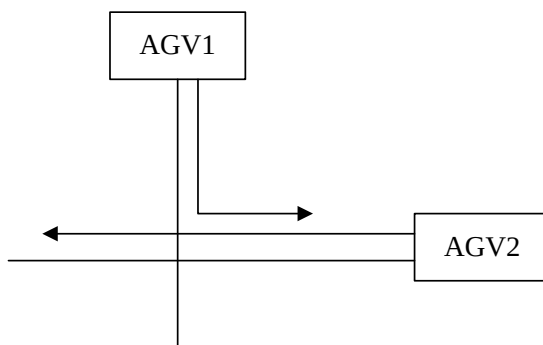


Рисунок 4 – Конфликтная ситуация на пересечении путей

Пусть AGV_1 находится ближе к конфликтному узлу s_2 , тогда маршрут следует скорректировать следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Если } W_{s_1 s_2 t}^{v_1} \cdot W_{s_3 s_2 t}^{v_2} = 1, A_{s_2 s_1(t+t_{s_1 s_2})} = 1, A_{s_2 s_3(t+t_{s_1 s_2})} = 0, \\ \text{то } A_{s_2 s_4(t+t_{s_1 s_2})} + A_{s_2 s_5(t+t_{s_1 s_2})} \geq 1, \end{aligned} \quad (7)$$

$$s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 \in \{1, 2, \dots, N\}, s_1 \neq s_2 \neq s_3 \neq s_4 \neq s_5,$$

$$s_2 \text{ прилегающий узел к } s_1, s_3, s_4, s_5, v_1, v_2 \in \{1, 2, \dots, V\}, v_1 \neq v_2.$$

Выражение $W_{s_1 s_2 t}^{v_1} \cdot W_{s_3 s_2 t}^{v_2}$ показывает, что пути от узла s_1 к узлу s_2 и от узла s_3 к узлу s_2 заняты AGV_1 и AGV_2 соответственно.

Равенство $A_{s_2 s_1(t+t_{s_1 s_2})} = 1$ означает, что после времени $t_{s_1 s_2}$ первым пойдет AGV_1 к узлу s_2 , а AGV_2 будет занимать путь от узла s_3 к узлу s_2 .

Неравенство $A_{s_2 s_4(t+t_{s_1 s_2})} + A_{s_2 s_5(t+t_{s_1 s_2})} \geq 1$ означает, что только один из двух путей к узлу s_2 доступен.

Если конфликтный узел s_2 на рисунке 2 имеет только три смежных узла, т.е. на Т-образном соединении возникает взаимоблокировка, то математическая модель корректировки будет следующая:

$$\text{Если } W_{s_1 s_2 t}^{v_1} \cdot W_{s_3 s_2 t}^{v_2} = 1, A_{s_2 s_1(t+t_{s_1 s_2})} = 1, A_{s_2 s_3(t+t_{s_1 s_2})} = 0,$$

$$\text{то } A_{s_2 s_4(t+t_{s_1 s_2})} + A_{s_2 s_5(t+t_{s_1 s_2})} \geq 1, \quad (8)$$

$$s_1, s_2, s_3, s_4 \in \{1, 2, \dots, N\}, s_1 \neq s_2 \neq s_3 \neq s_4,$$

$$s_2 \text{ прилегающий узел к } s_1, s_3, s_4, v_1, v_2 \in \{1, 2, \dots, V\}, v_1 \neq v_2.$$

Соотношения (7) и (8) обеспечивают возможность корректировки конфликтов, показанных на рисунках 2 и 3. Если (7) и (8) верны, то самый ранний AGV, прибывающий на конфликтный узел, может выбрать ожидание на свободном пути, пока не освободится исходный путь, или выбрать второй наилучший путь.

Конкретные схемы корректировки отражаются в формуле (5). Если отношения (7) и (8) неверны, то возникшая ситуация является неустранимой, как и в случае с рисунком 5.



Рисунок 5 – Конфликтная ситуация – движение по одной дуге

Если путь занят AGV, то этот путь не позволяет одновременно въезжать AGV в противоположном направлении. Поскольку AGV в системе движутся с одинаковой скоростью, то двум AGV, движущимся в одном направлении, разрешается двигаться по одному и тому же пути.

Для гарантии, что несколько AGV могут двигаться в одном направлении по одному и тому же пути, и что двум или более AGV не разрешается двигаться в одном направлении по одному и тому же пути, должно выполняться условие:

$$\text{Если } W_{s_1 s_2 t}^{v_1} = 1, \text{ то } W_{s_1 s_2 t}^{v_2} = 1, W_{s_2 s_1 t}^{v_3} = 0, \quad (9)$$

$$s_1, s_2 \in \{1, 2, \dots, N\}, s_1 \neq s_2, v_1, v_2, v_3 \in \{1, 2, \dots, V\}, v_1 \neq v_2 \neq v_3.$$

Для предотвращения движения двух AGV по одному участку пути в противоположном или том же направлении следует сделать недоступным данный участок пути. Другие AGV должны ждать или изменить маршрут движения. Для этого весь путь L делится на две части: набор временных окон простоя F_L и набор временных окон резервирования R_L , которые математически записываются как:

$$F_L = \left\{ f_g = [a_g, b_g] \right\}, \quad (10)$$

где f_g – период времени простоя;

g – индекс периода простоя, начиная с момента a_g до момента b_g ;

$$R_L = \{r_g = [c_g, d_g]\}, \quad (11)$$

где r_g – период времени резервирования;

g – индекс периода резервирования, начиная с момента времени c_g до момента времени d_g .

Таким образом, при перемещении AGV могут возникнуть конфликтные ситуации (рисунки 2-5), предотвращение которых в математической модели поиска минимума функции (1) учитывается с помощью соотношений (2)-(11). Для определения минимального пути между двумя узлами использовались классические алгоритмы Йена и Дейкстры.

Список литературы

1. Евдокимова, С.А. Особенности автоматизации склада на базе WMS / С.А. Евдокимова, А.А. Вострикова // Информатика: проблемы, методы, технологии : материалы XXIV Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2024. – С. 993-997.
2. Digital-Twin-Driven AGV Scheduling and Routing in Automated Container Terminals / P. Lou [et al.] // Mathematics. – 2023. – Vol. 11. – С. 2678.
3. Евдокимова, С.А. Модель процессов при автоматизации склада на основе IoT и WMS / С.А. Евдокимова, А.И. Гончарова // Моделирование информационных систем и технологий : материалы Международной научно-практической конференции. - Воронеж, 2024. - С. 304-310.
4. Новикова, Т.П. Исследование применимости PERT метода к процессу управления проектами дизайн-центра микроэлектроники / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 77-85.
5. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А.В. Скрыпников [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128.
6. 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.
7. 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.

8. Новикова, Т.П. Разработка и исследование базовой модели PERT для планирования работ по проекту / Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 75-81.

References

1. Evdokimova, S.A. Features of warehouse automation based on WMS / S.A. Evdokimova, A.A. Vostrikova // Informatics: problems, methods, technologies : proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference. – Voronezh, 2024. – Pp. 993-997.

2. Digital-Twin-Driven AGV Scheduling and Routing in Automated Container Terminals / P. Lou [et al.] // Mathematics. – 2023. – Vol. 11. – C. 2678.

3. Evdokimova, S.A. A process model for warehouse automation based on IoT and WMS / S.A. Evdokimova, A.I. Goncharova // Modeling of information systems and technologies : proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Voronezh, 2024. – Pp. 304-310.

4. Novikova, T.P. Investigation of the applicability of the PERT method to the project management process of the microelectronics design center / T.P. Novikova, S.A. Evdokimova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 1. – Pp. 77-85.

5. Choosing the optimality criterion when making managerial decisions in complex technical systems / A.V. Skrypnikov [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128.

6. 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.

7. Evdokimova, S.A. Algorithm for analyzing the customer base of a trade organization / S.A. Evdokimova, T.P. Novikova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 1. – Pp. 24-35.

8. Novikova, T.P. Development and research of the basic PERT model for project planning / T.P. Novikova, S.A. Evdokimova, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 4. – Pp. 75-81.

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА АУТЕНТИФИКАЦИИ СОТРУДНИКА НА КПП

С.А. Евдокимова, Е.О. Залукаев

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных
технологий»

В статье описывается разработанная функциональная модель в нотации IDEF0 процесса аутентификации сотрудника на КПП, на основе анализа которой отмечаются недостатки бумажных пропусков. Для повышения уровня информационной безопасности и пропускной способности предлагается усовершенствованная модель процесса аутентификации сотрудника на основе биометрии лица.

Ключевые слова: методология IDEF0, модель «AS-IS», модель «TO-BE», идентификация, аутентификация, биометрические признаки.

DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL MODEL OF THE EMPLOYEE AUTHENTICATION PROCESS AT THE CHECKPOINT

S.A. Evdokimova, E.O. Zalukaev

Voronezh State University of Engineering Technologies

The article describes the developed functional model in the IDEF0 notation of the employee authentication process at the checkpoint, based on the analysis of which the shortcomings of paper passes are noted. To increase the level of information security and throughput, an improved model of the employee authentication process based on facial biometrics is proposed.

Keywords: IDEF0 methodology, «AS-IS» model, «TO-BE» model, identification, authentication, biometric features.

Процесс аутентификации сотрудника на контрольно-пропускном пункте (КПП) является ключевым элементом системы безопасности предприятия. Для обеспечения эффективной и надежной защиты объектов необходимо четко про-

анализировать существующий процесс аутентификации, построив функциональную модель «Как есть» (AS-IS), и предложить оптимальное решение с использованием биометрической аутентификации в модели «Как должно быть» (TO-BE) [1-8].

Рассматриваемая компания занимается разработкой и внедрением инновационных технологических решений автоматизации бизнес-процессов, технической поддержкой интернет-ресурсов, разработкой и сопровождением программного обеспечения для различных организаций.

Проведенный анализ существующего процесса аутентификации сотрудников на КПП описан с помощью функциональных диаграмм в нотации IDEF0 (рисунки 1, 2) [1-8].

На рисунке 1 показана контекстная диаграмма процесса аутентификации сотрудника на КПП, которая представляет собой общую структуру существующего процесса аутентификации по пропуску.

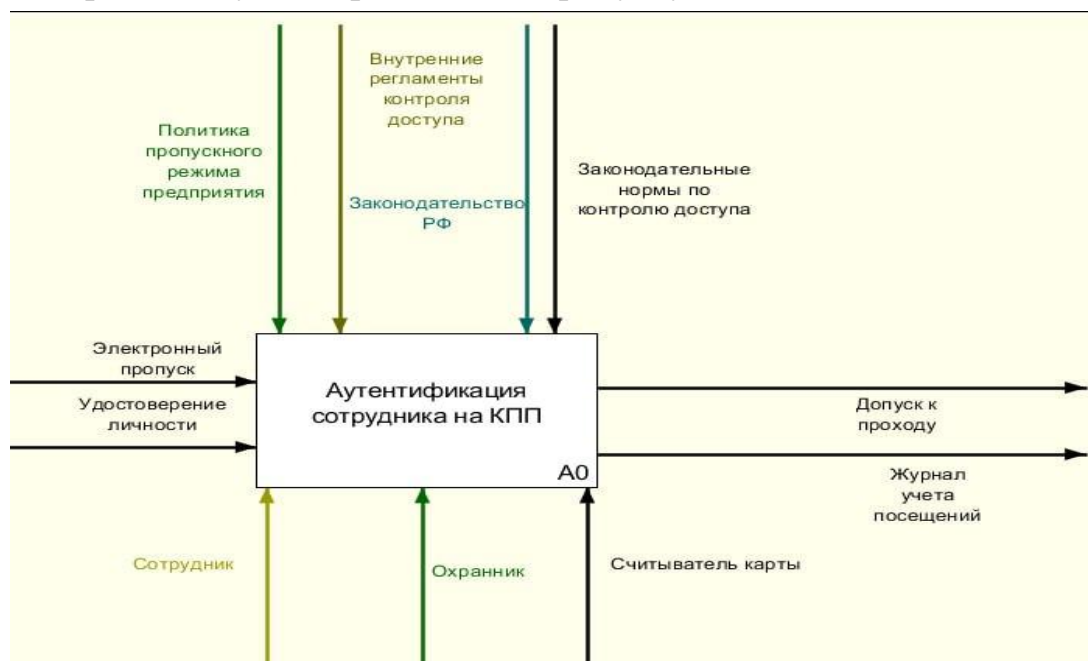


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма «AS-IS» Аутентификация сотрудника на КПП

Входными данными контекстной диаграммы являются:

- электронный пропуск – предоставляет информацию о праве доступа сотрудника;
- удостоверение личности - используется для подтверждения личности сотрудника, если отсутствует пропуск.

К механизмам процесса относятся:

- сотрудник – физическое присутствие человека, требующего доступа;
- охранник – человек, осуществляющий охрану объекта, проверку документов и принятие решения о допуске;
- считыватель карты – выполняет чтение данных с электронного пропуска.

Выходными данными являются:

- допуск к проходу – разрешение на вход/выход сотрудника на территорию предприятия;
- журнал учета посещений – запись информации о времени и событии прохождения сотрудниками и посетителями КПП.

К стрелкам управления относятся:

- законодательство РФ;
- политика пропускного режима предприятия;
- законодательные нормы по контролю доступа;
- внутренние регламенты контроля доступа.

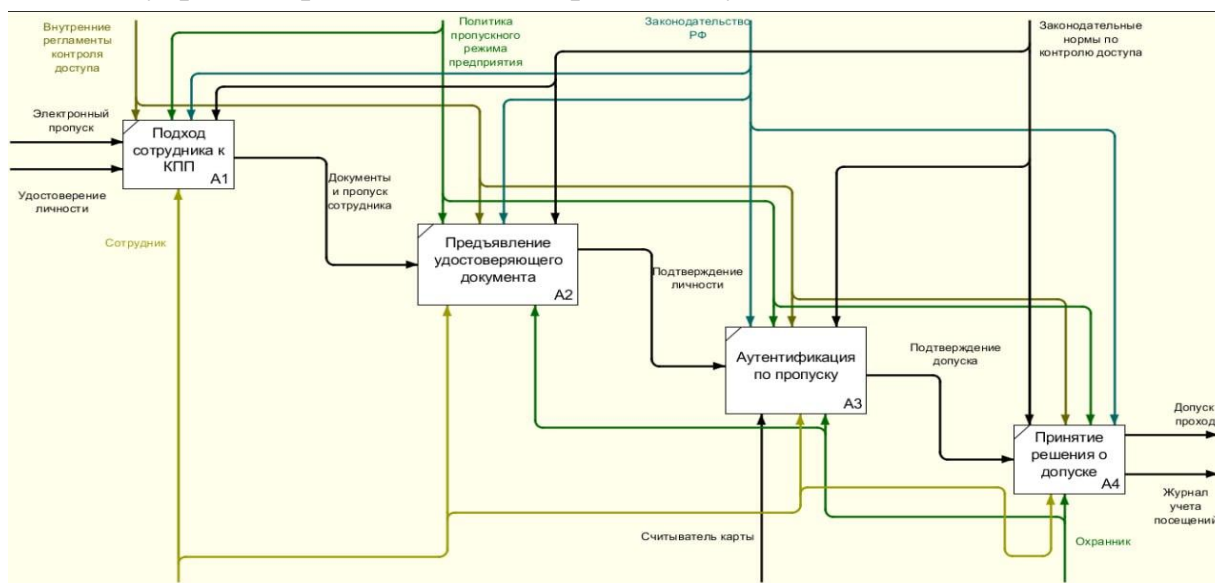


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции процесса «AS-IS» Аутентификация сотрудника на КПП

На диаграмме декомпозиции (рисунок 2) выделены следующие подпроцессы:

- A1 Подход сотрудника к КПП – сотрудник подошел к контрольному пункту;
- A2 Предъявление удостоверяющего документа – сотрудник предоставил электронный пропуск или удостоверение личности;

- А3 Аутентификация по пропуску – охранник сверяет предоставленные документы с внутренними регламентами и политикой пропускного режима;

- А4 Принятие решения о допуске – на основе результатов проверки охранник принимает решение о разрешении или отказе в доступе.

Текущий процесс аутентификации на КПП основан на ручной проверке документов сотрудниками охраны. Этот подход имеет высокую зависимость от человеческого фактора, что может привести к ошибкам и несанкционированному доступу. Низкая скорость обработки запросов, особенно при высокой интенсивности потока сотрудников, также является недостатком существующего процесса.

Программно-аппаратные средства контроля доступа, основанные на распознавании лиц, все больше внедряются на предприятиях и становятся ключевым элементом современной инфраструктуры безопасности. Биометрические решения опираются на уникальные черты внешности, и такой подход практически исключает возможность передачи доступа посторонним лицам. Камеры, интегрированные в турникеты или входные группы, позволяют мгновенно распознавать сотрудников, не требуя от них дополнительных действий.

Поэтому для устранения выявленных недостатков действующего процесса разработана функциональная модель «ТО-ВЕ» процесса аутентификации на основе технологии распознавания лиц (рисунки 3 и 4).

Теперь входными данными модели «ТО-ВЕ» является биометрический параметр Лицо – изображение лица сотрудника, захваченное камерой видеонаблюдения.

К механизмам процесса добавились:

- комплекс автоматической аутентификации – программно-аппаратный комплекс, выполняющий распознавание лиц и сравнение с базой данных;

- хранилище биометрических данных – база данных, содержащая зарегистрированные шаблоны лиц сотрудников;

- считыватель биометрических данных – эта камера, выполняющая захват лиц.

На диаграмме декомпозиции модели «ТО-ВЕ» (рисунок 4) определены следующие подпроцессы:

- А1 Подход сотрудника к КПП – сотрудник приближается к контрольному пункту;

– A2 Считывание биометрического параметра: Лица – комплекс автоматической аутентификации захватывает изображение лица сотрудника и передает его на обработку;

– A3 Принятие решения о допуске: – система сравнивает полученные биометрические данные с хранилищем и выдает решение о разрешении или отказе в доступе.



Рисунок 3 – Контекстная диаграмма «ТО-ВЕ» Аутентификация сотрудника на КПП с использованием биометрии

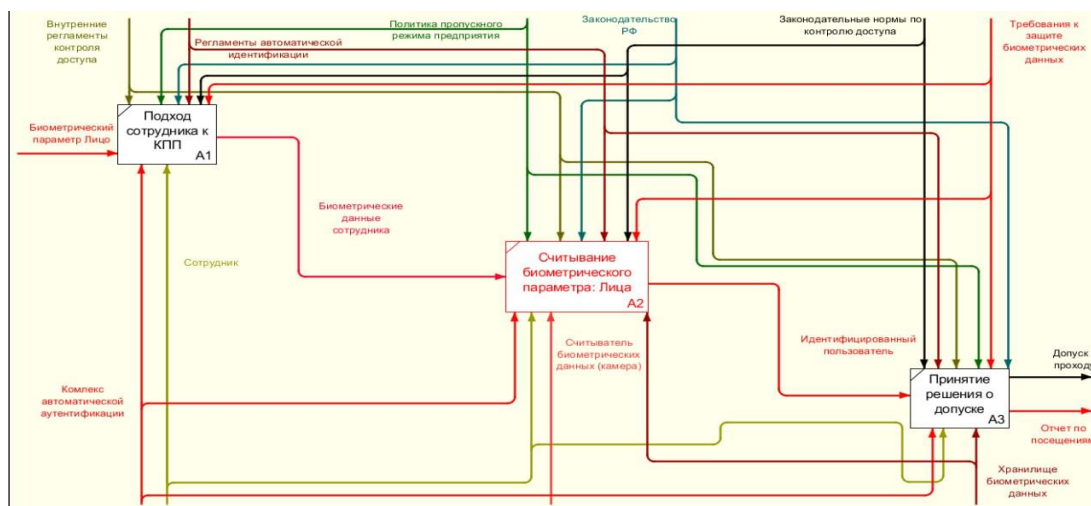


Рисунок 4 – Диаграмма декомпозиции «ТО-ВЕ»

Новый процесс аутентификации на КПП использует современную технологию распознавания лиц, которая значительно повышает безопасность и эффективность контроля доступа. Для реализации модернизированного процесса

идентификации и аутентификации сотрудников база данных контрольно-пропускной системы должна быть заполнена биометрическими данными сотрудников, имеющих право доступа к объекту. Архитектура программного продукта должна быть спроектирована с учетом требований ФЗ-152 «О персональных данных» и других законодательных актов РФ, а также к масштабируемости, отказоустойчивости, безопасности и удобству эксплуатации системы.

Таким образом, внедрение биометрической аутентификации сотрудников на КПП даст следующие преимущества:

- безопасность – защиту от подделки документов и спуффинга;
- повышение производительности – автоматизация процесса снижает время обработки до нескольких секунд;
- масштабируемость – возможность обслуживания большого количества сотрудников без увеличения числа операторов;
- контроль – полный аудит всех событий через журналы и отчеты.

Список литературы

1. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для платного отделения стоматологической поликлиники / Т.П. Новикова, А.А. Бодин, С.А. Евдокимова // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 51-58.

2. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А.В. Скрыпников [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128.

3. 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.

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.

5. Developing a risk management process for infrastructure projects using IDEF0 / H.-P. Tserng, I.-C. Cho C.-H. Chen, Y.-F. Liu // Sustainability (Switzerland). – 2021. – Vol. 13(12). – С. 6958.

6. Новикова, Т.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для обучения и тестирования операторов СІР-мойки /

Т.П. Новикова, А.В. Данилов, А.И. Новиков // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 72-78.

7. Сравнение нотаций DFD, IDEF0, IDEF3, EPC и BPMN с нотацией УФО-анализа / О.А. Зимовец, Е.В. Малкуш, С.И. Маторин, Н.И. Корсунов // Экономика. Информатика. – 2024. – Т. 51, № 4. – С. 936-945.

8. Функциональное моделирование формализации тактик реализации вредоносного программного обеспечения / И.И. Корчагин [и др.] / Безопасность информационных технологий. – 2024. – Т. 31, № 4. – С. 87-98.

References

1. Novikova, T.P. Development of an algorithm and a model for the functioning of an information system for a paid department of a dental clinic / T.P. Novikova, A.A. Bodin, S.A. Evdokimova // Modeling of systems and processes. – 2021. – Vol. 14, No. 1. – Pp. 51-58.

2. Selection of the optimality criterion in making managerial decisions in complex technical systems / A.V. Skrypnikov [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128.

3. 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.

4. Vysotskaya, I.A. Substantiation 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.

5. Developing a risk management process for infrastructure projects using IDEF0 / H.-P. Tserng, I.-C. Cho C.-H. Chen, Y.-F. Liu // Sustainability (Switzerland). – 2021. – Vol. 13(12). – C. 6958.

6. Novikova, T.P. Development of an algorithm and a model for the functioning of an information system for training and testing CIP-washing operators / T.P. Novikova, A.V. Danilov, A.I. Novikov // Modeling of systems and processes. – 2019. – Vol. 12, No. 2. – Pp. 72-78.

7. Comparison of notations DFD, IDEF0, IDEF3, EPC and BPMN with UFO analysis notation / O.A. Zimovets, E.V. Malkush, S.I. Matorin, N.I. Korsunov // Economy. Computer science. – 2024. – Vol. 51, No. 4. – Pp. 936-945.

8. Functional modeling of the formalization of tactics for the implementation of time-bearing software / I.I. Korchagin [et al.] / Information technology security. – 2024. – Vol. 31. No. 4. – Pp. 87-98.

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ЗАЩИЩЕННОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА

Н.С. Здоровцов, С.А. Евдокимова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных
технологий»

В статье показана необходимость использования многоуровневой архитектуры защиты веб-приложения интернет-магазина, которая возникает из-за различных видов угроз безопасности. В работе предложена схема архитектуры разрабатываемого приложения, описаны технологические механизмы, обеспечивающие его безопасность.

Ключевые слова: информационная безопасность, веб-приложение, OWASP, SQL-инъекции, XSS-атаки, FastAPI.

ARCHITECTURE DEVELOPMENT OF A SECURE WEB APPLICATION OF AN ONLINE STORE

N.S. Zdorovtsov, S.A. Evdokimova

Voronezh State University of Engineering Technologies

The article shows the need to use a multi-level architecture for protecting the web application of an online store, which arises due to various types of security threats. The paper proposes an architecture scheme for the application being developed, describes the technological mechanisms that ensure its security.

Keywords: information security, web application, OWASP, SQL injection, XSS attacks, FastAPI.

Современные веб-приложения сталкиваются с растущим числом угроз, связанных как с устаревшими архитектурными решениями, так и с новыми векторами атак. Обеспечение информационной безопасности веб-приложений не-

возможно без понимания актуальных угроз и соответствующих нормативных требований.

Одним из наиболее авторитетных источников, на которые ориентируются разработчики и специалисты по кибербезопасности, является OWASP Top 10 – документ, формирующий представление о наиболее критичных уязвимостях, которые на регулярной основе фиксируются в веб-среде [1].

В последних редакциях OWASP Top 10 особое внимание уделяется проблемам, связанным с управлением идентификацией и доступом, ошибками в конфигурации безопасности, а также уязвимостям, возникающим из-за небезопасного проектирования систем. Акценты смещены с «технических багов» на недостатки архитектурных решений, что подчеркивает рост интереса к проактивной защите – к разработке приложений, устойчивых к угрозам изначально, а не после обнаружения первых эксплойтов. Например, категорией A04:2021 в OWASP выделяются «Небезопасные конструкции», где подчёркивается важность внедрения принципов защищённой разработки на этапе проектирования системы.

Не менее важным аспектом, дополняющим картину рисков, является нормативно-правовая база, к которой относятся ГОСТ Р 59407 и международный стандарт ISO/IEC 27001 [2, 3]. Большое внимание в ГОСТ Р 57580 уделяется защите персональных данных, что особенно актуально для российского законодательства.

Архитектура проектируемого приложения интернет-магазина представляет собой многослойное решение, в котором уязвимости распределены между клиентским интерфейсом, серверной логикой и системой хранения данных. Эффективная защита не может строиться вокруг одного компонента, она требует синхронной работы всех уровней – от браузера пользователя до структуры SQL-запросов [4-6].

Клиентская часть выполняет критически важную роль в цепочке безопасности, так как уязвимости на этом уровне напрямую влияют на успех атак, ориентированных на пользователя – от XSS до фишинговых подмен. Одной из ключевых проблем является отсутствие обработки пользовательского ввода в компонентах формы, особенно в модулях обратной связи, адресной информации и встроенных редакторах отзыва. Если вводимые данные обрабатываются без фильтрации, то злоумышленник может внедрить исполняемый JavaScript-код или SQL-инъекции [7-9].

На уровне клиентской логики широко распространена практика хранения токенов аутентификации в LocalStorage. Однако в условиях интернет-магазина, где аккаунт пользователя может содержать чувствительную информацию о заказах, платежах и адресах доставки, такое решение создаёт прямой вектор атаки через XSS. Более надёжный подход – это хранение токена в HttpOnly-cookie, недоступной из скриптов, с привязкой к параметрам браузерной сессии. При этом важно не только выбрать способ хранения, но и настроить поведение при окончании сессии авторизации. Например, автоматическая очистка кэша, принудительный выход и контроль активности сессии по IP-адресу и User-Agent.

Серверная логика, обеспечивающая авторизацию, валидацию и взаимодействие с БД, является ядром защищённого интернет-магазина. Ошибки в этой зоне часто связаны с тем, что контроль доступа реализуется формально. Например, по наличию JWT, без дополнительной проверки владельца ресурса. Такая модель допускает горизонтальные атаки: пользователь может получить доступ к заказам другого клиента, если изменит ID в маршруте. Особенно уязвимы API-эндпоинты, где структура запроса выглядит предсказуемо. Более надёжным подходом будет связывание каждого действия с идентификатором текущего пользователя на уровне бизнес-логики, независимо от предоставленных параметров. Важным дополнением становится журналирование, так как регистрация всех попыток обращения к критическим данным позволит не только обнаружить попытку атаки, но и воспроизвести её сценарий при последующем анализе.

Хеширование пользовательских паролей является обязательным элементом при работе с регистрацией и аутентификацией, при этом качество операции определяется выбранным алгоритмом. Использование bcrypt с адаптивной сложностью позволяет замедлить перебор при компрометации базы. Важно также предусмотреть возможность миграции хешей.

С точки зрения валидации, серверная часть интернет-магазина должна отказаться от доверия к входящим данным даже при наличии клиентской проверки. Электронная почта, телефон, адрес и особенно поля с произвольным вводом (комментарии к заказу, обратная связь) подлежат фильтрации, нормализации и проверке на соответствие шаблонам. Невнимание к деталям, например, пропуск символов новой строки в текстовом поле, позволит злоумышленнику внедрить служебные конструкции, которые изменяют поведение парсера. Особенно критичны поля, содержащие JSON или HTML-фрагменты. Их передача в

непреобразованном виде может нарушить структуру ответа и привести к утечке данных.

Слой базы данных несёт основную нагрузку при обработке заказов, авторизации, хранения личных данных и истории транзакций. Использование ORM (Object-Relational Mapping, объектно-реляционное отображение) существенно снижает риск SQL-инъекций, но не устраняет его полностью. Если система допускает прямое выполнение запросов на основе пользовательского ввода, без предварительного фильтра, то даже один неправильно построенный фрагмент может привести к утечке или модификации данных. Подготовленные выражения (prepared statements) решают проблему на уровне синтаксиса, но только при условии, что переменные подставляются в строго типизированные позиции. Типовой ошибкой является подстановка имени таблицы или поля из GET-параметра, где экранирование не применяется. С точки зрения хранения, данные пользователя должны быть изолированы, архитектура БД должна предусматривать ограничения по области видимости, а система прав доступа – разграничение между административными и пользовательскими операциями.

Таким образом, при построении защищённого приложения интернет-магазина безопасность должна быть реализована не в виде отдельных механизмов, а в виде сети взаимозависимых решений, охватывающих клиентскую часть, серверную часть и СУБД. Надёжность системы будет обеспечена тем, что каждый слой проверяет, что предыдущий сделал свою работу корректно.

При проектировании веб-приложения интернет-магазина разработана схема многоуровневой защиты, представленная на рисунке 1.

Уровень сети	Уровень приложения	Уровень данных	Уровень контейнеризации
- HTTPS/TLS 1.2+ шифрование - CORS политики - Rate limiting - IP блокировка при подозрительной активности - Заголовки безопасности	- Frontend (Vue 3) - Автоматическое экранирование - Валидация форм - Content Security Policy - XSS защита - Защищенные маршруты - Backend (FastAPI) - JWT аутентификация - CSRF защита - SQL инъекции защита - Валидация входных данных - Логирование безопасности	- PostgreSQL Database - Шифрование паролей - Ролевой доступ - Аудит операций - Резервное копирование - Транзакционная целостность	- Frontend Container - Изолированная среда - Безопасные зависимости - Backend Container - Минимальные привилегии - Сканирование уязвимостей - Database Container - Изолированная среда - Шифрование данных

Рисунок 1 – Схема многоуровневой системы защиты веб-приложения

Архитектура безопасности разрабатываемого приложения включает несколько взаимодополняющих уровней защиты. На уровне сетевого взаимодействия реализуется защита от DDoS-атак и несанкционированного доступа через настройку файрволов и ограничение скорости запросов. Транспортный уровень обеспечивает шифрование данных с использованием TLS-протоколов, предотвращая перехват конфиденциальной информации в процессе передачи.

На уровне приложения реализуется комплексная система аутентификации и авторизации, включающая многофакторную аутентификацию и детализированное управление правами доступа. Механизмы защиты от инъекционных атак и межсайтового скриптинга интегрированы непосредственно в бизнес-логику приложения, обеспечивая валидацию и санитизацию всех входных данных.

Вторая линия защиты расположена непосредственно в веб-приложении и включает механизмы валидации входных данных, защиту от инъекций (например, использование параметризованных запросов) и управление сессиями (в том числе защиту от угонов с помощью Secure и HttpOnly флагов для cookie). Этот уровень предотвращает проникновение на уровне бизнес-логики и пользовательского взаимодействия.

Третья линия – это защита операционной системы и базы данных, где реализуется изоляция процессов, контроль прав доступа и шифрование данных на уровне хранения.

Принцип минимальных привилегий реализован во всей архитектуре. Каждому компоненту выделяются только необходимые права для выполнения своих функций, что снижает потенциальный ущерб в случае взлома. Система ролевого доступа (RBAC) обеспечивает детальное управление правами пользователей, что позволяет гибко настраивать доступ и операции в зависимости от роли и обязанностей сотрудника.

Архитектура безопасности определяет общие принципы защиты, но их практическая реализация требует тщательного выбора технологического стека. Каждая технология вносит свой вклад в общую безопасность системы – от встроенных механизмов защиты фреймворков до возможностей изоляции контейнеров [4]. FastAPI, например, предоставляет автоматическую валидацию данных через Pydantic, что исключает целый класс уязвимостей, связанных с некорректной обработкой входных параметров. Vue.js по умолчанию экранирует данные в шаблонах, предотвращая XSS-атаки без дополнительных усилий разработчика. Docker обеспечивает изоляцию процессов на уровне операционной системы, создавая дополнительный барьер для потенциальных злоумыш-

ленников. Выбор технологий должен основываться не только на их функциональных возможностях, но и на характеристиках безопасности, способности интегрироваться с другими компонентами системы и долгосрочной поддержке сообществом [7-9]. Выбор технологического стека для защищенного веб-приложения требует тщательного анализа функциональных возможностей и характеристик безопасности каждой технологии. Современный рынок предлагает множество решений, но не все из них обеспечивают необходимый уровень защиты и соответствуют принципам безопасной разработки.

Выбор FastAPI в качестве основного фреймворка для разработки API является хорошим выбором для проектов, где безопасность и производительность являются приоритетами [7]. В отличие от традиционных решений, как Django или Flask, FastAPI предлагает встроенные механизмы защиты на архитектурном уровне, минимизируя человеческий фактор. Например, автоматическая валидация данных через Pydantic исключает риски SQL-инъекций и XSS, которые в Flask требуют ручного контроля, а в Django хоть и обрабатываются ORM, но не столь гибки для сложных API-сценариев.

Кроме того, поддержка асинхронности делает FastAPI устойчивым к атакам типа DDoS, поскольку фреймворк эффективно справляется с высокой нагрузкой без блокировки запросов — в отличие от синхронных Django и Flask, где подобные угрозы требуют дополнительных инструментов. Интеграция с OpenAPI и Swagger UI также способствует безопасности: автоматическая документация позволяет сразу выявлять потенциально опасные эндпоинты, а встроенная поддержка OAuth2 и JWT избавляет от необходимости использовать ненадежные сторонние библиотеки.

Таким образом, разработанная многоуровневая архитектура веб-приложения демонстрирует подход к защите, в котором каждый уровень включает необходимые механизмы безопасности.

Список литературы

1. OWASP Foundation. OWASP Top 10:2021. – URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten/> (дата обращения: 12.10.2025).
2. ГОСТ Р 59407-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Базовая архитектура защиты персональных данных. – М.: Стандартинформ, 2021. – 32 с.

3. ГОСТ ISO/IEC 29100-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Основы защиты персональных данных. – М.: Стандартиформ, 2021. – 28 с.

4. Галатенко, В.А. Основы информационной безопасности. – М.: Интернет-университет информационных технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2024. – 266 с.

5. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А.В. Скрыпников [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128.

6. 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.

7. Stelea, G.A. When Cybersecurity Meets Accessibility: A Holistic Development Architecture for Inclusive Cyber-Secure Web Applications and Websites / G.A. Stelea, L. Sangeorzan N. Enache-David // Future Internet. – 2025. – Vol. 17. – S. 67.

8. Тун, Ю. Разработка алгоритма повышения эффективности протокола маршрутизации C-LEACH / Ю. Тун, Т.П. Новикова, С.А. Евдокимова // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 93-99.

9. Prasetyawan, D. Pengembangan Sistem Seleksi Proposal Penelitian Berbasis Web Service Menggunakan REST API / D. Prasetyawan, P. D. Rahmanto // JTIM. – 2024. – Vol. 6, no. 3. – Pp. 283-295.

References

1. The OWASP Foundation. OWASP Top 10:2021. – URL: [https://owasp.org/www-project-top-ten/\(date of publication: 12.10.2025\)](https://owasp.org/www-project-top-ten/(date of publication: 12.10.2025)).

2. GOST R 59407-2021. Information technology. Methods and means of ensuring security. The basic architecture of personal data protection. – Moscow: Standartinform, 2021. – 32 p.

3. GOST ISO/IEC 29100-2021. Information technology. Methods and means of ensuring security. Fundamentals of personal data protection. – Moscow: Standartinform, 2021. – 28 p.

4. Galatenko, V.A. Fundamentals of information Security. – Moscow: Internet University of Information Technologies (INTUIT), IP Media, 2024. – 266 p.

5. Choosing the optimality criterion when making managerial decisions in complex technical systems / A.V. Skrypnikov [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128.
6. 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.
7. Stele, G.A. When cybersecurity is combined with accessibility: a holistic development architecture for inclusive cybersecurity web applications and websites / G.A. Stele, L. Sangeorzan, N. Enash-David // The Internet of the Future. – 2025. – Volume 17. – S. 67.
8. Tun, Yu. Development of an algorithm to improve the efficiency of the C-lich routing protocol / Yu. Tun, T.P. Novikova, S.A. Evdokimova // Modeling of systems and processes. – 2022. – Vol. 15, No. 2. – Pp. 93-99.
9. Prasetyawan, D. Pengembangan, Proposal of the Penelitian Berbasis Menggunakan REST API web service selection system / D. Prasetyawan, P. D. Rahmanto // JTIM. - 2024. – Vol. 6, No. 3. – Pp. 283-295.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ DOCKER И GVISOR ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ WORKLOADS. КОНТЕЙНЕРИЗАЦИЯ И ВИРТУАЛИЗАЦИЯ

А.С. Кравченко, А.М. Тюнина

Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г.Ф. Морозова

Аннотация: в статье проведен сравнительный анализ архитектурных подходов Docker и gVisor с оценкой компромиссов между безопасностью, производительностью и совместимостью. Методология включает тестирование производительности с использованием стандартных бенчмарков, анализ поверхности атаки и оценку совместимости приложений. Выявлена ограниченная совместимость gVisor с приложениями, интенсивно использующими специфические системные вызовы. Практическая значимость работы заключается в разработке критериев выбора технологии изоляции в зависимости от требований безопасности и производительности.

Ключевые слова: контейнеризация, изоляция рабочих нагрузок, Docker, gVisor, безопасность, производительность, поверхность атаки.

SRAVNITEL'NYY ANALIZ DOCKER I GVISOR DLYA IZOLYATSII WORKLOADS. KONTEYNERIZATSIYA I VIRTUALIZATSIYA

A.S. Kravchenko, A.M. Tyunina

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

Annotatsiya: v stat'ye proveden sravnitel'nyy analiz arkhitekturnykh podkhodov Docker i gVisor s otsenkoy kompromissov mezhdu bezopasnost'yu, proizvoditel'nost'yu i sovmesti-most'yu. Metodologiya vklyuchayet testirovaniye proizvoditel'nosti s ispol'zovaniyem standartnykh benchmarkov, analiz poverkhnosti ataki i otsenku sovmestimosti prilozheniy. Vyyavlena ogranichennaya sovmestimost' gVisor s prilozheniyami, intensivno ispol'zuyushchi-mi

spetsificheskiye sistemnyye vyzovy. Prakticheskaya znachimost' raboty zaklyuchayetsya v razrabotke kriteriyev vybora tekhnologii izolyatsii v zavisimosti ot trebovaniy bezopasnosti i proizvoditel'nosti.

Keywords: containerization, workload isolation, Docker, gVisor, security, performance, attack surface.

Актуальность проблемы обеспечения безопасной изоляции рабочих нагрузок в облачных средах постоянно возрастает в связи с массовым переходом на контейнеризированную архитектуру приложений. Современные облачные платформы обрабатывают тысячи изолированных рабочих нагрузок на одном физическом хосте, где компрометация одного контейнера может привести к нарушению безопасности всей системы. Традиционные решения контейнеризации, такие как Docker, используют общее ядро операционной системы для всех контейнеров, что создает значительную поверхность атаки и потенциально позволяет эскалация привилегий в случае уязвимостей в ядре ОС. В качестве альтернативы разрабатываются решения с усиленной изоляцией, среди которых gVisor от Google представляет особый интерес благодаря архитектуре, исключаящей прямой доступ к системным вызовам ядра.

Обзор существующих исследований показывает противоречивость оценок эффективности различных подходов к изоляции. Работы, посвященные анализу производительности контейнеров, в основном фокусируются на сравнении Docker с традиционной виртуализацией, в то время как исследования безопасности часто ограничиваются теоретическим анализом уязвимостей. Недостаточно изученными остаются практические аспекты компромиссов между безопасностью и производительностью при использовании архитектур типа gVisor в реальных сценариях. Особую сложность представляет количественная оценка безопасности различных решений и ее корреляция с производительностью.

Целью данной работы является комплексный сравнительный анализ технологий Docker и gVisor для изоляции рабочих нагрузок с фокусом на оценке компромиссов между тремя ключевыми характеристиками: безопасностью, производительностью и совместимостью. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: формализация архитектурных различий между решениями, разработка методологии сравнительной оценки, экспериментальное измерение показателей производительности и безопасности, анализ совмес-

тимости с типовыми рабочими нагрузками, выработка практических рекомендаций по выбору технологии изоляции.

Объектом исследования в данной работе являются технологии изоляции рабочих нагрузок Docker и gVisor, рассматриваемые как системы обеспечения безопасного выполнения приложений в разделяемой облачной среде. Docker представляет традиционный подход контейнеризации с использованием пространств имен ядра Linux и групп управления, обеспечивающий изоляцию на уровне операционной системы. gVisor реализует альтернативную архитектуру с изоляцией на уровне пользовательского пространства ядра, где системные вызовы приложений перехватываются и обрабатываются через прослойку - так называемое "гостевое ядро", написанное на Go.

Входными параметрами анализа являются характеристики рабочих нагрузок, включая интенсивность системных вызовов, профиль использования ресурсов, требования к сетевому взаимодействию и специфические зависимости от возможностей ядра. Дополнительными входными параметрами выступают конфигурации безопасности, такие как используемые механизмы изоляции, настройки политик доступа и параметры ограничения ресурсов. Для экспериментальной части критически важны метрики производительности, включая время выполнения операций, потребление ресурсов и латентность.

Выходными параметрами исследования являются количественные оценки безопасности, измеряемые через размер поверхности атаки и устойчивость к эскалации привилегий; показатели производительности, включая накладные расходы на изоляцию и масштабируемость; а также оценка совместимости, определяемая как способность выполнять различные типы приложений без модификации. Ключевой выходной метрикой является интегральный показатель эффективности, отражающий баланс между безопасностью и производительностью.

Ограничения исследования включают специфику используемого аппаратного обеспечения, версий программного обеспечения и выбранных рабочих нагрузок. Моделирование проводится для типовых сценариев использования в облачных средах, что может не полностью отражать специализированные случаи эксплуатации. Кроме того, оценка безопасности основывается на анализе поверхности атаки и исторических данных об уязвимостях, что не учитывает потенциальные неизвестные уязвимости. Важным ограничением является также фокус на Linux-based решениях, что исключает из рассмотрения другие операционные системы.

Для сравнительного анализа технологий изоляции Docker и gVisor разработана комплексная методология, сочетающая экспериментальные измерения и аналитическое моделирование. Основу методологии составляет концепция поверхности атаки, формализуемая как множество потенциальных векторов компрометации системы. Для Docker поверхность атаки определяется как объединение системных вызовов ядра Linux, доступных из пространства имен контейнера, и компонентов демона Docker. В случае gVisor поверхность атаки включает интерфейс системных вызовов гостевого ядра и механизмы взаимодействия с хост-системой. Количественная оценка безопасности вычисляется через метрику $S = 1 - \left(\frac{A}{R}\right)$, где A — количество доступных векторов атаки, R — общее количество векторов в эталонной системе.

Производительность оценивается через систему уравнений, описывающих накладные расходы на изоляцию. Для Docker временные затраты определяются как $T_d = T_b + T_n + T_c$, где T_b — базовое время выполнения, T_n — накладные расходы пространств имен, T_c — затраты на контрольные группы. Для gVisor модель усложняется: $T_g = T_b + T_s + T_v + T_m$, где T_s — затраты на перехват системных вызовов, T_v — верификация параметров, T_m — маршрутизация через гостевое ядро. Отношение производительности выражается как $R_{ratio} = \frac{T_d}{T_g}$.

Экспериментальная проверка включает три категории тестов: микротесты системных вызовов с использованием специально разработанных бенчмарков, макротесты производительности с использованием стандартных инструментов и тесты совместимости на наборе типовых приложений. Для системных вызовов измеряется время выполнения 1000 итераций операций файловой системы, сетевого взаимодействия и управления процессами. Производительность оценивается через серию тестов включающих вычисления, операции ввода-вывода и сетевую пропускную способность. Совместимость проверяется через способность выполнения репрезентативных приложений без модификации их кода.

Экспериментальная инфраструктура развернута на идентичных виртуальных машинах с 8 vCPU, 32 ГБ ОЗУ и SSD-дисками. Используется ОС Ubuntu 22.04 LTS с ядром 5.15, Docker 23.0 и gVisor 20230612. Нагрузка генерируется с помощью Apache Bench, Siege и собственных бенчмарков. Измерения проводятся при различной интенсивности нагрузки от 100 до 10000 concurrent connections.

Результаты измерения поверхности атаки показывают значительное преимущество gVisor. Если Docker предоставляет доступ к 68% системных вызовов ядра Linux, то gVisor ограничивается 23%. Количество потенциальных векторов атаки через компоненты демона составляет 12 для Docker против 3 для gVisor. Интегральная оценка безопасности составляет 0.31 для Docker и 0.74 для gVisor по шкале от 0 до 1.

Производительность демонстрирует обратную картину. В тестах вычислений Docker показывает отставание в 3-5% относительно нативного выполнения, в то время как gVisor добавляет 15-20% накладных расходов. Операции файловой системы выявляют более существенный разрыв: при последовательном чтении Docker отстает на 8%, gVisor — на 42%. Сетевые тесты показывают максимальную разницу: пропускная способность TCP-соединений в Docker составляет 94% от нативной, в gVisor — лишь 56%. Задержки распределяются аналогично — 1.2 мс для Docker против 2.8 мс для gVisor при размере пакета 1 КБ.

Тесты совместимости выявляют 97% успешных запусков для Docker против 83% для gVisor. Наиболее проблемными для gVisor оказываются приложения, использующие расширенные системные вызовы ptrace, ioperm и специальные функции сетевых стеков. Приложения с стандартным POSIX-поведением демонстрируют полную совместимость с обеими системами. Для наглядности данные представлены в таблице 1.

Полученные результаты демонстрируют фундаментальный компромисс между безопасностью и производительностью при выборе технологии изоляции рабочих нагрузок. Преимущество gVisor в безопасности объясняется архитектурными особенностями — использование прослойки пользовательского пространства ядра эффективно ограничивает поверхность атаки. Однако эта архитектура становится источником существенных накладных расходов, особенно заметных в операциях ввода-вывода и сетевого взаимодействия. Анализ показывает, что дополнительные проверки системных вызовов и маршрутизация через гостевое ядро увеличивают латентность операций в среднем на 65-130% по сравнению с Docker.

Важным аспектом является зависимость производительности от типа рабочей нагрузки. Вычислительно интенсивные задачи демонстрируют относительно умеренное падение производительности в gVisor (15-20%), в то время как приложения с активным сетевым взаимодействием и частыми операциями с файловой системой теряют до 45% производительности. Это объясняется архи-

тектурными ограничениями гостевого ядра gVisor, которое не может полностью оптимизировать работу с системными ресурсами.

Таблица 1 – Сравнительный анализ Docker и gVisor

Критерий оценки	Показатель	Docker	gVisor	Нативная система
Безопасность	Доступные системные вызовы	68%	23%	100%
	Векторы атаки через демон	12	3	-
	Интегральная оценка безопасности	0.31	0.74	0.15
Производительность	Вычислительные операции	3...5%	+15...20%	100% (база)
	Операции с файловой системой	+8%	+42%	100%
	Пропускная способность сети	94%	56%	100%
	Сетевая задержка (1 КБ)	1.2 мс	2.8 мс	1.0 мс
Совместимость	Успешные запуски приложений	97%	83%	100%
Проблемные области	Системные вызовы	-	ptrace, ioperm	-
	Сетевые функции	-	Специальные сетевые стеки	-

Сравнение с альтернативными решениями показывает, что gVisor занимает промежуточное положение между традиционной контейнеризацией и полной виртуализацией. По безопасности решение приближается к виртуальным машинам, сохраняя при этом преимущества контейнеров в скорости развертывания и плотности размещения. Однако ограниченная совместимость с некото-

рыми категориями приложений сужает область практического применения gVisor.

Проведенное исследование позволяет сформулировать четкие критерии выбора технологии изоляции рабочих нагрузок. Docker остается оптимальным решением для производительных систем, обрабатывающих критичные по времени операции, где требования к безопасности могут быть обеспечены дополнительными механизмами на уровне кластера. gVisor следует применять в средах с повышенными требованиями к безопасности, особенно при работе с непроверенным кодом или в мультитенантных окружениях.

Практическая значимость работы подтверждается разработанными рекомендациями по выбору технологии изоляции в зависимости от типа рабочей нагрузки и требований безопасности. Для высокопроизводительных вычислений и сетевых приложений предпочтительнее Docker, в то время как для задач обработки данных и веб-сервисов с умеренными требованиями к производительности может быть выбрана gVisor.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка гибридных решений, сочетающих преимущества обоих подходов, а также создание адаптивных систем изоляции, способных динамически выбирать технологию контейнеризации в зависимости от текущей нагрузки и профиля безопасности. Отдельного внимания заслуживает оптимизация производительности gVisor для специализированных рабочих нагрузок и расширение поддержки системных вызовов для улучшения совместимости.

Список литературы

1. Эдриен Моуэт Использование Docker. - O'Reilly Media, 2017 г.
2. Терских М.Г. Технологии изоляции приложений и инструментальные средства для управления контейнерами // Теория и практика современной науки. - Саратов: Изд-во ООО "Институт управления и социально-экономического развития", 2017 г.
3. Нанян С.М., Ничушкина Т.Н. Виртуальные контейнеры Docker: назначение и особенности применения / Инженерный вестник. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015 г. // Теория и практика современной науки.
4. Сейерс Э. Х., Милл А. Docker на практике. - Manning Publishing, 2019 г.

References

1. Edriyen Mouet Ispol'zovaniye Docker. - O'Reilly Media, 2017 g.
2. Terskikh M.G. Tekhnologii izolyatsii prilozheniy i instrumental'nyye sredstva dlya upravleniya konteynerami // Teoriya i praktika sovremennoy nauki. - Saratov: Izd-vo OOO "Institut upravleniya i sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya", 2017 g.
3. Nanyan S.M., Nichushkina T.N. Virtual'nyye konteynery Docker: naznachenije i osobennosti primeneniya / Inzhenernyy vestnik. - Moskva: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2015 g. // Teoriya i praktika sovremennoy nauki.
4. Seyyers E. KH., Mill A. Docker na praktike. - Manning Publishing, 2019 g.

SELF-HEALING БАЗЫ ДАННЫХ: КОНЦЕПЦИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ

В.И. Куницын, В.С. Лучников, Е.С. Ильин, А.О. Карташов

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

Аннотация. С ростом объёмов данных и усложнением цифровых инфраструктур всё более актуальной становится проблема надёжности и бесперебойности работы систем управления базами данных (СУБД). Классические подходы, основанные на репликации и резервном копировании, не всегда способны обеспечить требуемую устойчивость в условиях динамических нагрузок и киберугроз. Одним из перспективных направлений развития является концепция self-healing баз данных — систем, обладающих способностью к автоматическому восстановлению после сбоев без участия администратора.

Ключевые слова: self-healing базы данных, самовосстановление, faulttolerance, автоматизация восстановления, СУБД, распределённые системы, отказоустойчивость.

SELF-HEALING DATABASES: THE CONCEPT OF AUTONOMOUS RECOVERY STORAGE SYSTEMS

V.I. Kunitsyn, V.S. Luchnikov, E.S. Ilyin, A.O. Kartashov

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

Abstract. With the growth of data volumes and the increasing complexity of digital infrastructures, the problem of reliability and uninterrupted operation of database management systems (DBMS) is becoming ever more relevant. Traditional approaches based on replication and backup are not always sufficient to ensure the required resilience under dynamic workloads and cyber threats. One promising direction of development is the concept of self-healing databases – systems capable of automatically recovering from failures without administrator intervention.

Keywords: self-healing databases, autonomous recovery, fault tolerance, recovery automation, DBMS, distributed systems, high availability.

Теоретические основы self-healing систем

Первые системы управления базами данных (СУБД) разрабатывались в условиях, когда объёмы информации были относительно невелики, а отказоустойчивость решалась преимущественно резервным копированием и восстановлением данных из бэкапов. Такой подход работал в эпоху централизованных вычислительных центров, однако по мере роста распределённых систем и объёма хранимой информации его эффективность стала снижаться. Постепенно стало очевидно, что классические механизмы не могут гарантировать непрерывность работы, особенно в условиях глобальных сетей и облачных инфраструктур.

В начале XXI века внимание исследователей привлекли так называемые self-healing системы, изначально применявшиеся в телекоммуникациях и встроенных устройствах. Их идея заключалась в том, чтобы минимизировать вмешательство человека и передать функции обнаружения и устранения ошибок самой системе. Применение этих принципов к базам данных стало логичным шагом, учитывая критическую роль хранения информации в современных цифровых платформах [1].

Самовосстанавливающаяся база данных (self-healing database)— это СУБД, обладающая встроенными механизмами автоматического выявления сбоев и их устранения без необходимости ручного вмешательства администратора. В отличие от традиционных решений, где администратор анализирует логи и применяет корректирующие действия, здесь цикл «обнаружение → анализ → коррекция → восстановление» выполняется самой системой.

Ключевыми свойствами таких решений считаются:

1. **Автономность.** Система должна действовать без постоянного контроля со стороны человека.
2. **Превентивность.** Ошибка устраняется на раннем этапе, до того, как приведёт к отказу или повреждению данных.
3. **Адаптивность.** Механизмы корректировки должны учитывать динамику нагрузки, архитектурные изменения и непредвиденные ситуации.
4. **Обучаемость.** Многие современные self-healing решения включают элементы машинного обучения для прогнозирования будущих проблем.

Архитектура самовосстанавливающихся СУБД обычно строится вокруг трёх ключевых модулей:

1. **Мониторинг**— постоянное отслеживание состояния базы, запросов, производительности и сетевых взаимодействий.
2. **Аналитический блок**— сопоставление текущих метрик с эталонными значениями, выявление аномалий и потенциальных угроз.
3. **Исполнительный модуль**— применение корректирующих действий: от перезапуска узлов к перераспределению нагрузки или восстановлению повреждённых данных [2].

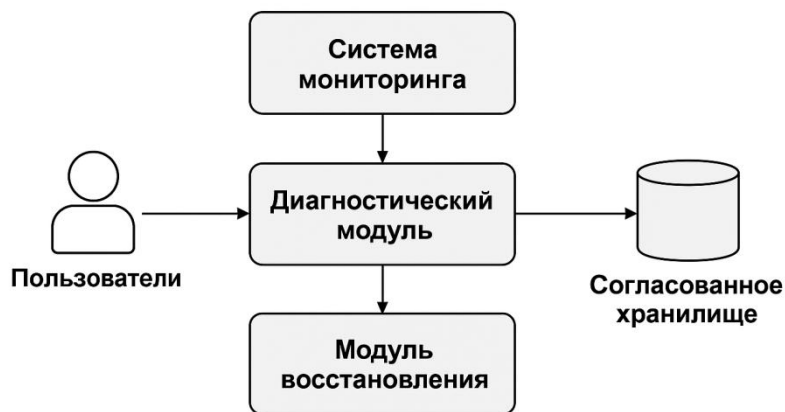


Рисунок 1 –Общая архитектура self-healing базы данных

На представленном рисунке 1 показан упрощённый принцип функционирования самовосстанавливающейся базы данных. Пользователи взаимодействуют с системой через обычные операции чтения и записи, которые становятся исходным источником нагрузки. Параллельно работает мониторинговый контур, фиксирующий текущее состояние базы и параметры её работы. Все данные о происходящем стекаются в диагностический модуль, где они подвергаются анализу: проверяется согласованность транзакций, корректность индексов и отсутствие ошибок. Если система работает штатно, информация передаётся в согласованное хранилище и остаётся доступной для пользователей.

Когда же фиксируется сбой или аномалия, в процесс включается модуль восстановления. Он автоматически запускает заранее настроенные процедуры: повторяет неудавшиеся транзакции, синхронизирует реплики, исправляет повреждённые записи или перераспределяет нагрузку между узлами. После завершения этих действий данные вновь проходят через диагностику, и цикл продолжается [3].

Таким образом, схема демонстрирует не просто отдельные элементы системы, а их непрерывное взаимодействие. Пользователь получает доступ к базе без заметных перебоев, поскольку большинство ошибок устраняется в автоматическом режиме, ещё до того, как они становятся критичными.

Архитектурные подходы и технологии

Самовосстанавливающиеся базы данных строятся на принципе модульности, где каждый компонент выполняет свою роль, но в то же время связан с другими через общий цикл обратной связи. В основе архитектуры лежит система мониторинга, обеспечивающая постоянный контроль над состоянием базы: отслеживаются метрики производительности, ошибки в транзакциях и потенциальные угрозы целостности данных.

Ключевое место занимает диагностический модуль. Он анализирует поступающую информацию и сопоставляет её с нормами работы. Если фиксируются отклонения – будь, то перегрузка узла, нарушение согласованности копий или падение отдельного сервиса, – именно здесь принимается решение о необходимости вмешательства [4].

На следующем этапе работы системы задействуется модуль восстановления. Его функции могут варьироваться от относительно простых действий, например повторной записи транзакции, до более комплексных процедур, связанных с перестройкой индексов, созданием новых реплик или даже временным отключением отдельных узлов, если это необходимо для предотвращения дальнейшего развития сбоя. Принципиально важно, что все эти процессы выполняются автоматически, без непосредственного участия администратора.

После завершения корректирующих операций изменения фиксируются в согласованном хранилище. Это обеспечивает пользователям доступ исключительно к целостной и актуальной информации, даже если внутри системы в данный момент происходило восстановление. Подобный механизм позволяет базе данных оставаться работоспособной даже в условиях неисправностей, скрывая от внешних пользователей внутренние сбои и сохраняя стабильность сервисов.

В итоге архитектуру самовосстанавливающихся баз данных можно рассматривать как единый замкнутый контур, включающий мониторинг, диагностику и автоматизированное устранение ошибок. Такая организация не только обеспечивает своевременное реагирование на возникающие проблемы, но и способствует повышению общей устойчивости системы, так как она постепен-

но «учится» на собственных ошибках и адаптируется к изменяющимся условиям эксплуатации.

Применение в современных СУБД

Функционирование self-healing базы данных основано на непрерывном цикле, в котором соединяются процессы наблюдения, диагностики и восстановления. В отличие от традиционных решений, где администратор выявляет и устраняет сбой вручную, здесь весь процесс замыкается внутри самой системы и протекает в автоматическом режиме.

Работа цикла начинается с мониторинга. В реальном времени собираются данные о транзакциях, задержках, распределении нагрузки и других характеристиках. Эти сведения служат базой для анализа. Далее поток информации поступает в диагностический блок, где система выявляет потенциальные отклонения: от временной перегрузки до повреждения данных. Важным моментом является то, что диагностика не только фиксирует факт сбоя, но и определяет его масштаб и возможные последствия.

После анализа активируется модуль восстановления. В зависимости от ситуации запускаются разные сценарии: повтор транзакции, переключение на резервный сервер, репликация или исправление несогласованных данных. Если ошибка критическая, модуль может временно ограничить доступ к части функций, сохранив при этом общее функционирование системы.

Завершив восстановление, система возвращается в исходное состояние и снова переходит к этапу мониторинга. Таким образом формируется замкнутый цикл, позволяющий не только исправлять сбои, но и предотвращать их накопление.

Подобный подход делает базу данных способной работать стабильно даже в условиях высокой нагрузки и частых ошибок. Пользователь же практически не замечает происходящих внутри процессов, поскольку система поддерживает согласованность и доступность данных автоматически.

Будущее self-healing баз данных

Перспективы развития самовосстанавливающихся баз данных напрямую связаны с ростом сложности информационных систем и возрастающими требованиями к их бесперебойной работе. В ближайшие годы ключевым направлением станет интеграция таких систем с искусственным интеллектом. Использование машинного обучения позволит не только фиксировать уже случившиеся сбои, но и предсказывать их возникновение на основе анализа накопленных

данных. Это откроет возможность перехода от реактивного восстановления к проактивному предотвращению ошибок.

Вторым важным направлением можно назвать развитие облачных и распределённых архитектур. В условиях, когда данные всё чаще хранятся на множестве узлов в разных географических точках, способность системы к самовосстановлению приобретает особую ценность. Здесь self-healing механизмы будут выполнять роль «клея», поддерживающего согласованность и непрерывность доступа, несмотря на сбои в отдельных узлах.

Не менее значимым трендом является усиление требований к безопасности. В будущем самовосстанавливающиеся базы данных должны будут автоматически реагировать не только на технические сбои, но и на попытки несанкционированного доступа или нарушения целостности информации. Это приведёт к появлению гибридных решений, сочетающих традиционные механизмы безопасности с интеллектуальными алгоритмами восстановления.

Кроме того, вероятно появление стандартов и протоколов, обеспечивающих взаимодействие self-healing систем между собой. Это особенно актуально для корпоративных и государственных структур, где различные базы данных объединяются в сложные экосистемы.

Таким образом, будущее self-healing баз данных связано с их превращением в интеллектуальные системы, способные учиться, адаптироваться и обеспечивать не только восстановление, но и устойчивое развитие всей инфраструктуры хранения данных.

На иллюстрации показана концепция самовосстанавливающихся баз данных (self-healing DB), в которой особое внимание уделяется двум основным направлениям — обеспечению безопасности и автоматизации процессов.

Защищённость.

Подобные системы изначально проектируются так, чтобы минимизировать последствия сбоев, ошибок в записях и попыток внешнего вмешательства. Встроенные механизмы позволяют автоматически выявлять нестандартные ситуации: повреждённые транзакции, подозрительные обращения или нарушения прав доступа. После обнаружения отклонений база данных запускает корректирующие процедуры — от восстановления информации с резервных копий до применения алгоритмов исправления ошибок. Всё это происходит без необходимости ручного вмешательства администратора, что повышает устойчивость и сокращает время простоя.

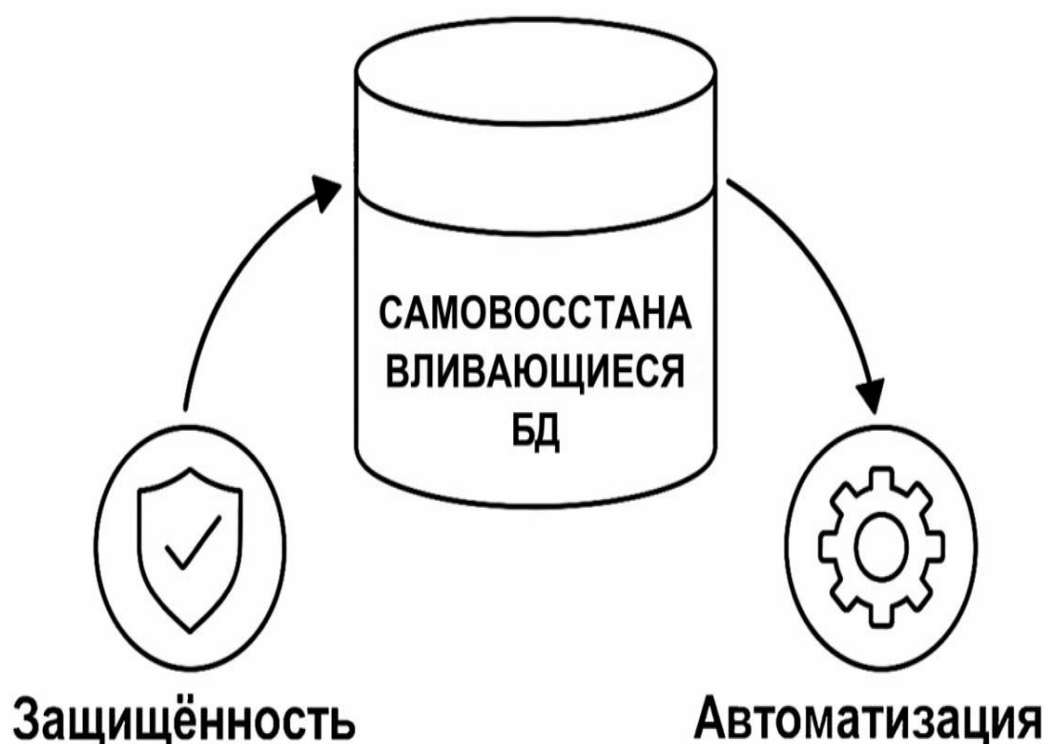


Рисунок 2— Будущее self-healing баз данных

Автоматизация.

Другим ключевым элементом концепции выступает автоматизация. В self-healing системах именно она обеспечивает постоянный контроль: база данных непрерывно отслеживает собственное состояние, анализирует журналы событий, производительность и другие параметры. Это позволяет не только быстро реагировать на возникающие проблемы, но и предупреждать их развитие на ранней стадии.

При обнаружении проблем (например, утечки памяти или замедления запросов) она самостоятельно применяет заранее настроенные сценарии исправления: перезапускает службы, перераспределяет ресурсы или даже меняет конфигурацию на лету [5].

Как это работает в целом

1. Мониторинг: Система отслеживает работоспособность компонентов БД в реальном времени.

2. Диагностика: используются алгоритмы машинного обучения или правила для выявления отклонений.

3. Реакция: В зависимости от типа проблемы выбирается стратегия восстановления – откат транзакций, переключение на резервный узел и т.д.

4. Верификация: после устранения сбоя проверяется, что данные корректны, а производительность восстановлена.

Такие системы особенно востребованы в облачных средах и распределённых базах данных, где ручное управление затруднено. Их развитие – часть тренда на автономные ИТ-системы, минимизирующие простои и человеческие ошибки.

Self-healing базы данных представляют собой новый шаг в развитии информационных технологий. Их внедрение позволит сократить время простоев, снизить затраты и повысить уровень доверия к цифровым инфраструктурам. Однако для массового распространения необходимо решить ряд технических и организационных задач, включая стандартизацию протоколов, интеграцию с ИИ и повышение энергоэффективности.

Список литературы

1. Stonebraker, M. Readings in Database Systems / M. Stonebraker, J. Hellerstein. – 5th ed. – MIT Press, 2023. – 620 p.
2. Garcia-Molina, H. Database Systems: The Complete Book / H. Garcia-Molina, J. Ullman, J. Widom. – 2nd ed. – Pearson, 2024. – 1248 p.
3. Иванов, Е. П. Самовосстанавливающиеся базы данных: концепции и перспективы / Е. П. Иванов // Информационные технологии. – 2023. – № 4. – С. 45–52. – EDN XCVBNM.
4. Oracle Corporation. Autonomous Database [Electronic resource]. – URL: <https://www.oracle.com/autonomous-database/> (датаобращения: 17.08.2025).
5. Microsoft SQL Server Always On. – URL: <https://learn.microsoft.com/sql/sql-server/> (датаобращения: 17.08.2025).

References

1. Stonebraker, M., & Hellerstein, J. Readings in Database Systems (5th ed.). MIT Press, 2023. – 620 p.
2. Garcia-Molina, H., Ullman, J., & Widom, J. Database Systems: The Complete Book (2nd ed.). Pearson, 2024. – 1248 p.
3. Ivanov, E. P. Self-Recovering Databases: Concepts and Prospects. Information Technologies, 2023, No. 4, pp. 45–52. – EDN XCVBNM.
4. Oracle Corporation. Autonomous Database [Electronic resource]. Available at: <https://www.oracle.com/autonomous-database/> (accessed August 17, 2025).
5. Microsoft. SQL Server Always On. Available at: <https://learn.microsoft.com/sql/sql-server/> (accessed August 17, 2025).

АВТОНОМНЫЕ ИИ–АГЕНТЫ В МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ И МЕТАВСЕЛЕННЫХ

В.И. Куницын, В.С. Лучников, Е.С. Ильин, А.О. Карташов

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

Аннотация. С развитием технологий виртуальной и дополненной реальности, а также распределённых вычислительных платформ, возникла потребность в создании цифровых сущностей, способных действовать самостоятельно и взаимодействовать с другими участниками виртуальной среды. Такими сущностями стали автономные ИИ-агенты – программные компоненты, обладающие возможностью принимать решения, адаптироваться к изменениям и сотрудничать в рамках многоагентных систем (MAS).

В контексте метавселенных роль таких агентов выходит за рамки сервисных функций. Они могут выступать в роли NPC (неигровых персонажей), помощников, торговых посредников, обучающих систем или модераторов, а также действовать как независимые субъекты с долгосрочными целями.

Цель данной статьи – рассмотреть архитектуру, механизмы работы и перспективы применения автономных ИИ-агентов в условиях многопользовательских виртуальных миров, а также предложить визуальные схемы, поясняющие ключевые концепции.

Ключевые слова: автономные ИИ-агенты, многоагентные системы, MAS, метавселенная, искусственный интеллект, распределённые системы, взаимодействие агентов, виртуальные миры.

AUTONOMOUS AI AGENTS IN MULTI-AGENT SYSTEMS AND THE METAVERSE

V.I. Kunitsyn, V.S. Luchnikov, E.S. Ilyin, A.O. Kartashov

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

Abstract. With the advancement of virtual and augmented reality technologies, as well as distributed computing platforms, there has emerged a need for the creation of digital entities capable of operating independently and interacting with other participants in a virtual environment. These entities are known as autonomous AI agents – software components capable of making decisions, adapting to changes, and collaborating within the framework of multi-agent systems (MAS).

In the context of the metaverse, the role of such agents goes beyond purely service-oriented functions. They can act as NPCs (non-playable characters), assistants, trading intermediaries, educational systems, or moderators, as well as operate as independent entities with long-term objectives.

The purpose of this article is to examine the architecture, operational mechanisms, and prospects for the use of autonomous AI agents in multi-user virtual worlds, as well as to present visual diagrams illustrating key concepts.

Keywords: autonomous AI agents, multi-agent systems, MAS, metaverse, artificial intelligence, distributed systems, agent interaction, virtual worlds.

Архитектура автономного ИИ–агента

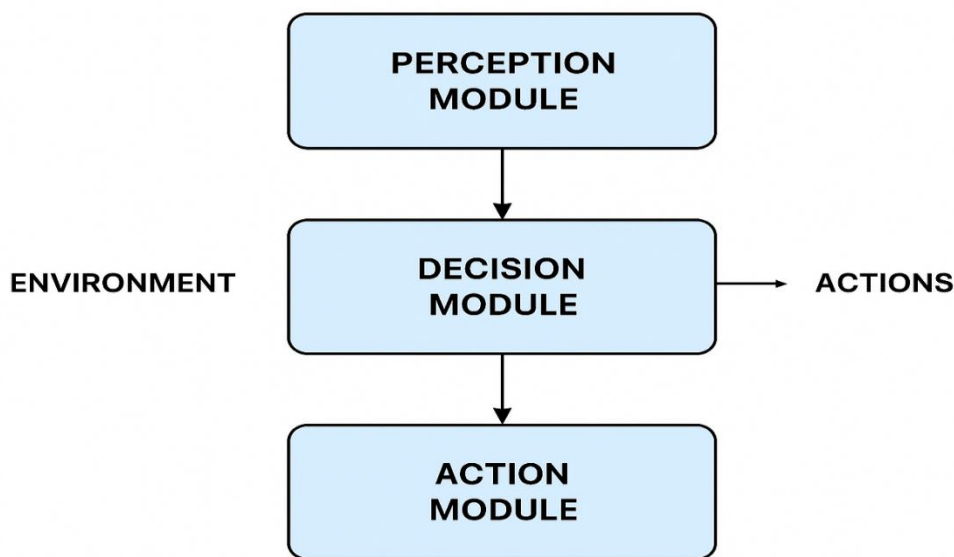


Рисунок 1 –Базовая архитектура автономного ИИ–агента

Всё начинается с того, что внешний мир генерирует события, сигналы или изменения, которые агент может заметить. Это могут быть перемещения объектов, звуковые сигналы, визуальные образы, изменения состояния системы или команды от пользователя. Агент улавливает эти изменения с помощью встроенных средств восприятия – они преобразуют поток данных из реальной

или виртуальной среды в структурированную информацию, с которой можно работать дальше [1].

После этапа восприятия наступает момент анализа и выбора стратегии. Агент сопоставляет полученные сведения с тем, что он уже знает или ожидает увидеть, оценивает возможные сценарии развития ситуации и выбирает наилучший способ реагирования. Этот выбор может опираться как на заранее заданные правила, так и на накопленный опыт, в том числе результат обучения на предыдущих взаимодействиях [2].

Далее решение переходит в фазу исполнения. Агент преобразует выбранную стратегию в конкретные команды – будь то физическое движение, изменение параметров в виртуальном мире, передача сообщения другому агенту или взаимодействие с объектом. Эти действия напрямую воздействуют на окружающую среду, вызывая в ней новые изменения [3].

В результате снова формируются новые входные данные, и весь процесс повторяется. Такой непрерывный цикл восприятия, принятия решений и действий позволяет агенту адаптироваться к динамичной среде, поддерживать взаимодействие с другими участниками системы и достигать поставленных целей без постоянного внешнего контроля.

Взаимодействие в системе начинается с пользователя, находящегося в реальном, материальном окружении. Его мир обозначается как Physicalworld. Именно здесь человек использует технические средства, позволяющие связать физическую реальность с виртуальной средой: это могут быть VR- или AR-шлемы, сенсорные контроллеры, камеры для отслеживания движений и другие интерфейсы [4].

Далее действие переносится в виртуальное пространство (Virtual world). Это цифровая среда, где формируются трёхмерные сцены, объекты и динамические сценарии. В этой среде человек может не только перемещаться, но и активно взаимодействовать с элементами окружения и другими участниками, а также инициировать определённые процессы.

Завершающее звено цепочки – это агенты искусственного интеллекта (AI agents). Они встроены в виртуальную среду и выполняют разные роли: реагируют на действия пользователя, помогают выполнять задачи, могут выступать в роли наставников, управлять элементами цифрового мира или имитировать поведение других персонажей [5].

Таким образом, рисунок иллюстрирует путь данных и взаимодействия: человек из физического мира через интерфейс попадает в виртуальное про-

странство, где его действия пересекаются с работой искусственных агентов, создавая интегрированный опыт, характерный для метавселенной.

METaverse

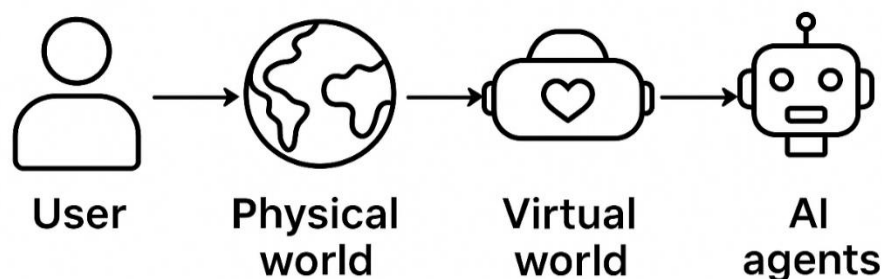


Рисунок 2—Модель экосистемы агентов в метавселенной

Автономные ИИ–агенты являются важным элементом будущих цифровых экосистем. В многоагентных системах и метавселенных они позволяют создать более живой, адаптивный и интерактивный опыт, а развитие их архитектур и механизмов взаимодействия откроет новые горизонты для бизнеса, образования и развлечений.

Список литературы

1. Wooldridge, M. An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. – 2nd ed. – Hoboken: Wiley, 2023. – 484 p. – ISBN 978-0-470-51946-2. – EDN ZQPLMJ.
2. Jennings, N. R.; Sycara, K.; Wooldridge, M. A roadmap of agent research and development / N. R. Jennings, K. Sycara, M. Wooldridge // Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. – 2023. – Vol. 1, № 1. – P. 7–38. – DOI 10.1023/A:1010090405266. – EDN PQXMLMW.

3. Franklin, S.; Graesser, A. Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents / S. Franklin, A. Graesser // *Intelligent Agents III*. – Berlin: Springer, 2024. – P. 21–35. – ISBN 978-3-540-62507-0. – EDN QMWRTZ.
4. Schmid, K.; Lindemann, G.; Sary, C. Intelligent virtual agents in virtual worlds / K. Schmid, G. Lindemann, C. Sary // *Journal of Universal Computer Science*. – 2023. – Vol. 16, № 9. – P. 1249–1269. – ISSN 0948-695X. – EDN LZQTXR.
5. Mystakidis, S. Metaverse / S. Mystakidis // *Encyclopedia*. – 2022. – Vol. 2, № 1. – P. 486–497. – DOI 10.3390/encyclopedia2010031. – EDN MZWRQT.

References

1. Wooldridge, M. An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. – 2nd ed. – Hoboken: Wiley, 2023. – 484 p. – ISBN 978-0-470-51946-2. – EDN ZQPLMJ.
2. Jennings, N. R.; Sycara, K.; Wooldridge, M. A roadmap of agent research and development / N. R. Jennings, K. Sycara, M. Wooldridge // *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. – 2023. – Vol. 1, № 1. – P. 7–38. – DOI 10.1023/A:1010090405266. – EDN PQXMLW.
3. Franklin, S.; Graesser, A. Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents / S. Franklin, A. Graesser // *Intelligent Agents III*. – Berlin: Springer, 2024. – P. 21–35. – ISBN 978-3-540-62507-0. – EDN QMWRTZ.
4. Schmid, K.; Lindemann, G.; Sary, C. Intelligent virtual agents in virtual worlds / K. Schmid, G. Lindemann, C. Sary // *Journal of Universal Computer Science*. – 2023. – Vol. 16, № 9. – P. 1249–1269. – ISSN 0948-695X. – EDN LZQTXR.
5. Mystakidis, S. Metaverse / S. Mystakidis // *Encyclopedia*. – 2022. – Vol. 2, № 1. – P. 486–497. – DOI 10.3390/encyclopedia2010031. – EDN MZWRQT.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ КИБЕРБОЛЕЗНИ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В.И. Куницын, В.С. Лучников, Е.С. Ильин, А.О. Карташов, Т.В. Скворцова

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

Аннотация. Виртуальная реальность (VR) становится важным инструментом в образовании, медицине, промышленности и игровой индустрии. Однако одним из ключевых барьеров её массового применения остаётся киберболезнь (VR motionsickness) — комплекс физиологических симптомов (тошнота, головокружение, дезориентация), возникающих при длительном или интенсивном использовании VR-устройств. Причины этого явления лежат в рассогласовании сенсорных сигналов: визуальная система воспринимает движение, тогда как вестибулярный аппарат фиксирует неподвижность тела.

Для производителей и разработчиков VR-контента проблема снижения киберболезни критична, так как она напрямую влияет на продолжительность сеанса и удовлетворённость пользователя. В статье рассматриваются современные и перспективные методы минимизации этого эффекта.

Ключевые слова: виртуальная реальность, киберболезнь, VR motionsickness, вестибулярная система, снижение симптомов, пользовательский опыт, эргономика VR.

METHODS FOR REDUCING VR MOTION SICKNESS

V.I. Kunitsyn, V.S. Luchnikov, E.S. Ilyin, A.O. Kartashov, T.V. Skvortsova

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

Abstract. Virtual reality (VR) is becoming an important tool in education, medicine, industry, and the gaming industry. However, one of the key barriers to its widespread adoption remains VR motion sickness — a set of physiological symptoms (nausea, dizziness, disorientation) occur during prolonged or intense use of VR devices. The causes of this phenomenon lie in the mismatch of

sensory signals: the visual system perceives movement, while the vestibular system detects the body as stationary.

For VR manufacturers and content developers, reducing motion sickness is a critical issue, as it directly affects session duration and user satisfaction. This article examines current and prospective methods for minimizing this effect.

Keywords: virtual reality, motion sickness, VR motion sickness, vestibular system, symptom reduction, user experience, VR ergonomics.

Причины возникновения киберболезни

Киберболезнь возникает при несоответствии между зрительным восприятием движения и сигналами от вестибулярного аппарата. К этому добавляются задержки отображения, искажения в оптике, низкая частота кадров, чрезмерные ускорения в виртуальной сцене. Особенно остро проблема проявляется у пользователей, не имеющих опыта работы с VR, и при использовании некачественного оборудования [1].

Таблица 1 – Дизайнерские и поведенческие методы

Метод	Принцип применения	Преимущества	Ограничения
Статичные ориентиры	Добавление неподвижных элементов в сцену	Стабилизация восприятия	Не всегда уместно по сюжету
Плавная анимация движения	Исключение резких ускорений и поворотов	Меньше нагрузка на вестибулярный аппарат	Снижает динамику геймплея
Тренировка пользователя	Постепенное увеличение времени в VR	Адаптация организма	Требует времени и самоконтроля
Индивидуальная настройка	Подбор FOV, скорости перемещения, чувствительности трекинга	Персональный комфорт	Необходима настройка под каждого пользователя
Многосенсорная обратная связь	Использование вибраций, движения платформы	Согласование визуальных и тактильных сигналов	Увеличивает сложность и стоимость оборудования

Первая таблица описывает технические методы, направленные на оптимизацию аппаратной и программной части VR-системы. Они напрямую влияют

на качество картинки, частоту кадров, задержку и искажения, устраняя ключевые источники сенсорного конфликта [2].

Вторая таблица охватывает дизайнерские и поведенческие подходы, фокусирующиеся на проектировании опыта пользователя и адаптации его организма к условиям VR. Эти методы менее затратны с точки зрения вычислительных ресурсов, но требуют творческого подхода и грамотного UX-дизайна [3].

В реальной практике максимальный эффект достигается при комбинировании обоих подходов: аппаратная оптимизация создает техническую базу, а дизайнерские приёмы делают VR-опыт более щадящим для организма [4].

Перспективные технологии

1. **Foveated rendering** — рендеринг с высоким качеством только в области фокусного зрения с учётом движения глаз, что позволяет повысить FPS.
2. **Сенсорная обратная связь** — добавление вибрации, сопротивления или движения платформы для согласования ощущений.
3. **Индивидуальная калибровка** — адаптация контента под физиологические параметры конкретного пользователя.

Снижение киберболезни — комплексная задача, требующая оптимизации аппаратной части, улучшения программных алгоритмов и эргономики виртуальной среды. Комбинация методов — от технических до физиологических — способна существенно повысить комфорт и продолжительность пребывания пользователя в виртуальной реальности, что является ключевым фактором для широкого внедрения VR-технологий [5].

Список литературы

1. LaViola, J. J. A discussion of cybersickness in virtual environments / J. J. LaViola // ACM SIGCHI Bulletin. – 2023. – Vol. 32, № 1. – P. 47–56. – ISSN 0736-6906. – EDN WXYJLK.
2. Stanney, K. M.; Kennedy, R. S.; Drexler, J. M. Cybersickness is not simulator sickness / K. M. Stanney, R. S. Kennedy, J. M. Drexler // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. – 2024. – Vol. 41, № 2. – P. 1138–1142. – DOI 10.1177/107118139704100292. – EDN ZPLXRM.
3. Chang, E.; Kim, H. T.; Yoo, B. Safety considerations for VR applications / E. Chang, H. T. Kim, B. Yoo // Virtual Reality. – 2023. – Vol. 24, № 3. – P. 373–392. – DOI 10.1007/s10055-020-00432-6. – EDN MQRTYP.

4. Keshavarz, B.; Hecht, H. Validating an efficient method to quantify motion sickness / B. Keshavarz, H. Hecht // *Human Factors*. – 2023. – Vol. 53, № 4. – P. 415–426. – DOI 10.1177/0018720811403736. – EDN LXQWSD.

5. Patterson, R. Human factors of virtual reality / R. Patterson // *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications*. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2024. – 768 p. – ISBN 978-1-4398-9583-2. – EDN KZTYNP.

References

1. LaViola, J. J. A discussion of cybersickness in virtual environments / J. J. LaViola // *ACM SIGCHI Bulletin*. – 2023. – Vol. 32, № 1. – P. 47–56. – ISSN 0736-6906. – EDN WXYJLK.

2. Stanney, K. M.; Kennedy, R. S.; Drexler, J. M. Cybersickness is not simulator sickness / K. M. Stanney, R. S. Kennedy, J. M. Drexler // *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. – 2024. – Vol. 41, № 2. – P. 1138–1142. – DOI 10.1177/107118139704100292. – EDN ZPLXRM.

3. Chang, E.; Kim, H. T.; Yoo, B. Safety considerations for VR applications / E. Chang, H. T. Kim, B. Yoo // *Virtual Reality*. – 2023. – Vol. 24, № 3. – P. 373–392. – DOI 10.1007/s10055-020-00432-6. – EDN MQRTYP.

4. Keshavarz, B.; Hecht, H. Validating an efficient method to quantify motion sickness / B. Keshavarz, H. Hecht // *Human Factors*. – 2023. – Vol. 53, № 4. – P. 415–426. – DOI 10.1177/0018720811403736. – EDN LXQWSD.

5. Patterson, R. Human factors of virtual reality / R. Patterson // *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications*. – 2nd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2024. – 768 p. – ISBN 978-1-4398-9583-2. – EDN KZTYNP.

БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ГЕНЕРАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ: АРХИТЕКТУРЫ, ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.И. Куницын, В.С. Лучников, Е.С. Ильин, А.О. Карташов

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

Аннотация. Развитие генеративного искусственного интеллекта — от крупных языковых моделей до диффузионных и состязательных архитектур — обнажило стратегическую роль данных. Модели создают новый контент, но качество результата определяется тем, как устроены процессы сбора, хранения, индексирования и доставки обучающих и вспомогательных наборов. Классические реляционные СУБД и распространённые NoSQL-хранилища предложили основу для многих проектов, однако специфика генеративных систем сместила фокус: возникает потребность в хранении векторных представлений (embeddings), в поиске по смысловой близости, в высокой скорости выборки. Эта монография систематизирует архитектуры баз данных, применимых в генеративных сценариях, рассматривает методы индексирования и интеграции с моделями, а также анализирует риски и направления дальнейшего развития.

Ключевые слова: генеративные модели; базы данных; векторные базы данных; embeddings; семантический поиск; RAG; индексирование; машинное обучение; безопасность данных; федеративное обучение.

DATABASES FOR GENERATIVE MODELS: ARCHITECTURES, CHALLENGES, AND PROSPECTS

V.I. Kunitsyn, V.S. Luchnikov, E.S. Ilyin, A.O. Kartashov

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

Abstract. The rise of generative artificial intelligence—from large language models to diffusion and adversarial architectures—has laid bare the strategic role of data. Models create new con-

tent, but the quality of their outputs is determined by how training and auxiliary datasets are collected, stored, indexed, and delivered. Traditional relational DBMSs and widely used NoSQL stores have provided the foundation for many projects; however, the specifics of generative systems have shifted the focus: there is a need to store vector representations (embeddings), to perform similarity-based (semantic) retrieval, and to support high-throughput reads during inference. This monograph systematizes database architectures applicable to generative scenarios, reviews indexing methods and integration with models, and analyzes risks and future directions.

Keywords: generative models; databases; vector databases; embeddings; semantic search; RAG; indexing; machine learning; data security; federated learning.

Генеративные модели и требования к данным

Генеративные модели ориентированы не на классификацию, а на синтез: они конструируют новый текст, изображение или иные виды данных, опираясь на статистические закономерности, выявленные в больших корпусах. Выделяют несколько доминирующих семейств. Большие языковые модели (LLM) обучаются на многожанровых текстовых массивах и используют вероятностные распределения для предсказания следующего токена; от качества и разнообразия корпуса зависит их способность к обобщению и переносимости между предметными областями. Генеративно-сопоставительные сети (GAN) используют противостояние генератора и дискриминатора, что заставляет модель производить всё более правдоподобные образцы. Диффузионные архитектуры, наоборот, стартуют с шума и в серии шагов восстанавливают структуру данных, что даёт высокую детализацию изображений и устойчивость к артефактам. Роль базы данных проявляется уже на этапе конструирования датасета: необходимо поддерживать поступление потоков из разнородных источников, исключать дубликаты, фиксировать происхождение (datalineage) и версионировать выборки. Во время обучения требуется устойчивый throughput при чтении больших последовательных блоков, а в инференсе — быстрый доступ к вспомогательным сведениям: справочникам, индексам, кэшам и, главное, к векторным представлениям. Отдельная задача — актуальность: языковые модели без регулярной подкачки свежего материала быстро теряют связь с реальными событиями. Наконец, критично качество: присутствие токсичных, размыто-ошибочных или юридически спорных данных воспроизводит и усиливает искажения в ответах модели.

В практических проектах генеративного ИИ вопросы «каких данных много» и «какие именно данные нужны» никогда не совпадают. Объём сам по себе

не спасает: модель чувствительна к распределению источников, к повторяемости сюжетов, к свежести и юридической чистоте корпуса. Поэтому контур работы с данными строят как управляемый процесс, а не набор разрозненных загрузок. Сначала определяют продуктовую цель (диалоговые сценарии, код-ассистент, визуальный генератор), затем описывают целевые домены и фиксируют квоты — сколько материалов из каждого домена должно попасть в выборку. Этот шаг снижает риск «перекоса» модели в сторону избыточно представленного класса документов.

Далее — этап «санации» источников. Для текста это удаление boilerplate, исправление явных кодировочных артефактов, нормализация типографики. Для изображений — проверка разрешения, фильтр по форматам, отбрасывание пустых или повреждённых файлов. Для аудио и видео — проверка длительности, корректный контейнер, при необходимости — автоматическая транскрипция с маркировкой качества. На этом же шаге по возможности устраняют юридические риски: отсеивают ресурсы с неясной лицензией, фиксируют происхождение и добавляют «паспорт» набора (datasetcard) с описанием допущений и ограничений.

Отдельной строкой идёт дедупликация и борьба с «почти дублями». Хэш-подписи (SimHash, MinHash) обнаруживают повторяющиеся куски текста; для изображений используют перцептивные хэши и алгоритмы поиска ближайших соседей. На больших объёмах важен компромисс: слегка агрессивная дедупликация лучше, чем накачивание модели бесконечными повторами, которые искусственно сужают разнообразие. Параллельно запускают поиск персональных данных: регулярные выражения и NER-модели находят потенциальные РП-сущности, после чего включается политика редактирования (редакция, маскировка, а в спорных случаях — исключение документа).

Когда «сырьё» приведено в приличный вид, начинается курирование и аннотирование. В генеративных задачах редко хватает полностью ручной разметки — её дополняют слабым обучением (weaksupervision), активным обучением (activelearning) и самопроверками модели. Для LLM это ещё и выбор стратегии токенизации, «нарезка» на фрагменты (semanticchunking против скользящего окна), а также контроль доменных квот: если целевая область — медицина или право, общий корпус должен быть смешан с профильными наборами так, чтобы сигнал из домена не потерялся в общем шуме.

Финальный слой — версионирование и защита от утечек смысла. Наборы публикуют как vX.Y с неизменяемыми чек-суммами и описанием изменений;

отдельным прогоном проверяют «контаминацию» контрольных задач (eval), чтобы тесты не оказались в обучении. Только после этого данные собирают в шардированные хранилища для обучения и раскладывают по векторным витринам для инференса: embeddings-хранилища, кэши RAG, справочники и словари.

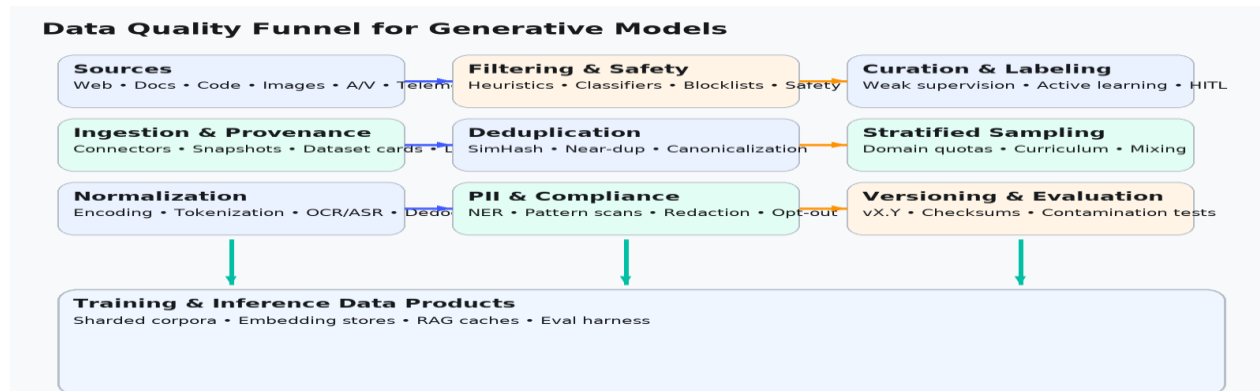


Рисунок 1 - Воронка качества данных для генеративных моделей

Диаграмма построена как трёхколоночная «воронка». Слева — источники и приём данных: веб-корпуса, документы, кодовые репозитории, изображения/аудио, телеметрия. Здесь же фиксируются происхождение и лицензии, формируются datasetcards. В средней колонке показаны блоки качества и соответствия требованиям: фильтрация нежелательного контента, автоматические классификаторы безопасности, дедупликация (включая поиск «почти дублей»), удаление РИ с помощью NER и регулярных шаблонов, а также учёт согласий/отказов. Справа — курация и выборки: слабая и активная разметка, включение человека в цикл, стратифицированная выборка с доменными квотами и элементами «учебной программы» (curriculum), затем — версионирование наборов (vX.Y), контроль целостности и отдельные прогоны на предмет контаминации тестов.

Все три «рукава» сходятся в нижний блок: готовые продукты данных для обучения и инференса — шардированные корпуса, векторные витрины (embedding-store) для семантического поиска и RAG-кэши, а также инфраструктура оценивания (evalharness). Такая организация позволяет не просто «набить» модель данными, а поддерживать управляемое качество, отслеживаемость изменений и воспроизводимость экспериментов. Это особенно важно, когда модель разворачивается в промышленной среде и требования к правовой чистоте и безопасности не уступают требованиям к точности.

Архитектуры баз данных для генеративных систем

Под генеративные сценарии складываются четыре базовых класса хранилищ. Реляционные СУБД обеспечивают строгую схему, транзакции и зрелые механизмы целостности; они незаменимы для учёта, метаданных, прав доступа и отчётности, но не оптимальны для семантического поиска. NoSQL-семейство (документные, колоночные, keyvalue и widecolumn решения) берёт на себя масштабируемость и гибкую схему, что полезно для хранения сырых корпусов и событий. Векторные базы данных адресуют главный «бутылочный горлышок» генеративных систем — быстрый поиск по embedding векторам и топ К ближайших соседей. Наконец, гибридные платформы совмещают перечисленные подходы: векторные индексы соседствуют с транзакционной зоной и аналитическим слоем.

Таблица 1 – Сравнение SQL, NoSQL и векторных БД

Аспект	SQL (реляционные)	NoSQL	Векторные БД
Модель данных	Строгая схема, нормализация	Гибкая/схема-он-рид	Векторы + метаданные
Транзакции	ACID, зрелые механизмы	Ограничено/BASE	Часто eventual + транзакции по метаданным
Масштабирование	Вертикально + шардинг	Горизонтально из коробки	Горизонтально, шардирование по сегментам
Поиск	Ключи/диапазоны	Гибкие паттерны	ANN/косинус/евклид, топ- K
Скорость записи	Стабильная, транзакционная	Высокая для потоков	Зависит от индекса/батчей
Интеграции	BI/ETL, аудит	Стриминг, IoT, события	RAG, LLM- инференс
Сценарии	Учёт, метаданные, права	Корпуса, логи, телеметрия	Embeddings, семантический поиск
Стоимость	Зрелые инструменты, DBA	Сложность кластеров	Индексы и хранение векторов дороже
Сильные стороны	Целостность, отчётность	Гибкость, масштаб	Смысловой поиск, rerank
Ограничения	Нет семантического поиска	Нет строгой транзакционности	Сложность тюнинга индексов

Сравнение показывает, что реляционные хранилища остаются опорой для критических метаданных и аудита; NoSQL- подходы покрывают потребность в приёме и хранении неструктурированных корпусов; векторные базы обеспечивают семантический поиск и RAG- сценарии. На практике эти классы комби-

нируют: транзакционный контур живёт в SQL, сырьё — в документном/объектном слое, а поверх размещается векторный индекс с быстрым ANN- поиском.

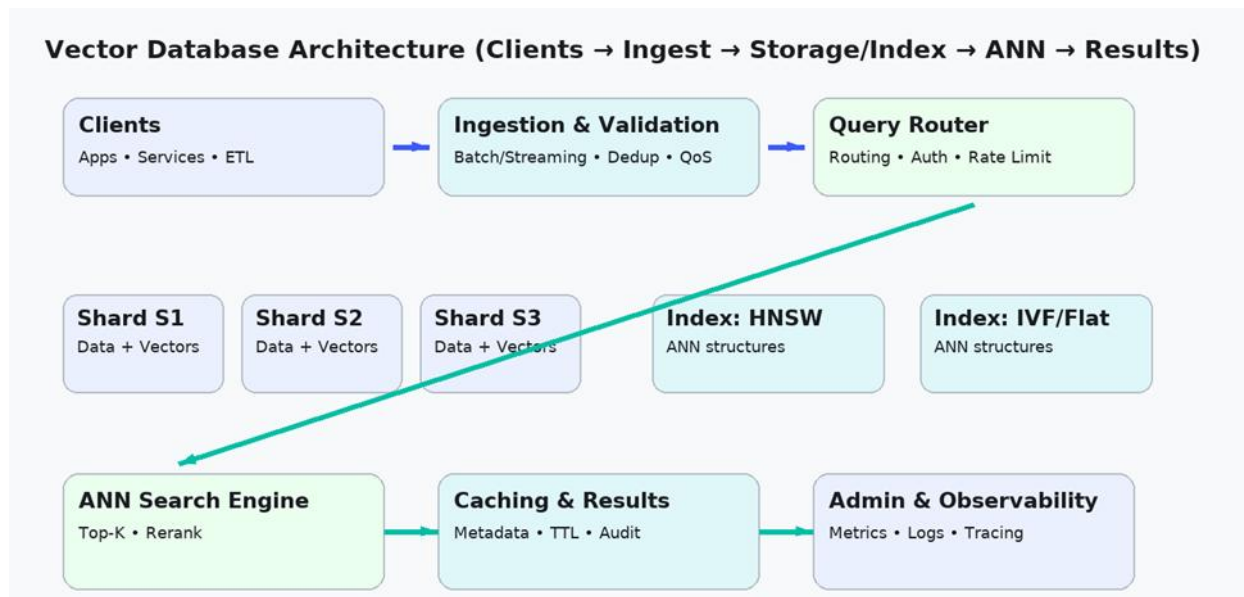


Рисунок 2 - Архитектура векторной базы данных

Диаграмма отражает сквозной путь данных: клиенты генерируют запросы и потоки записи, конвейер приёма валидирует и дедуплицирует события, маршрутизатор распределяет нагрузку и выполняет аутентификацию. Шардированное хранилище держит векторы и метаданные; индексы (HNSW/IVF) обслуживают приближённый поиск. Движок ANN формирует топ- K соседей, кэш сохраняет частые результаты, а слой наблюдаемости собирает метрики и трассировки.

Методы хранения и индексирования данных

Векторные представления стали «рабочей единицей» генеративных систем. Для эффективного доступа используют структуры и алгоритмы приближённого поиска ближайших соседей (ANN): графовые индексы HNSW дают высокую точность при умеренной латентности; разбиение пространства на ячейки (IVF) ускоряет отбор кандидатов; квантование (PQ/OPQ) снижает объём хранения и повышает пропускную способность. На практике методы комбинируют: быстрый грубый отбор по IVF/PQ, затем точный пересчёт расстояний и rerank. Системные аспекты включают батч- вставки, хранение «холодных» векторов в сжатии и GPU- ускорение.

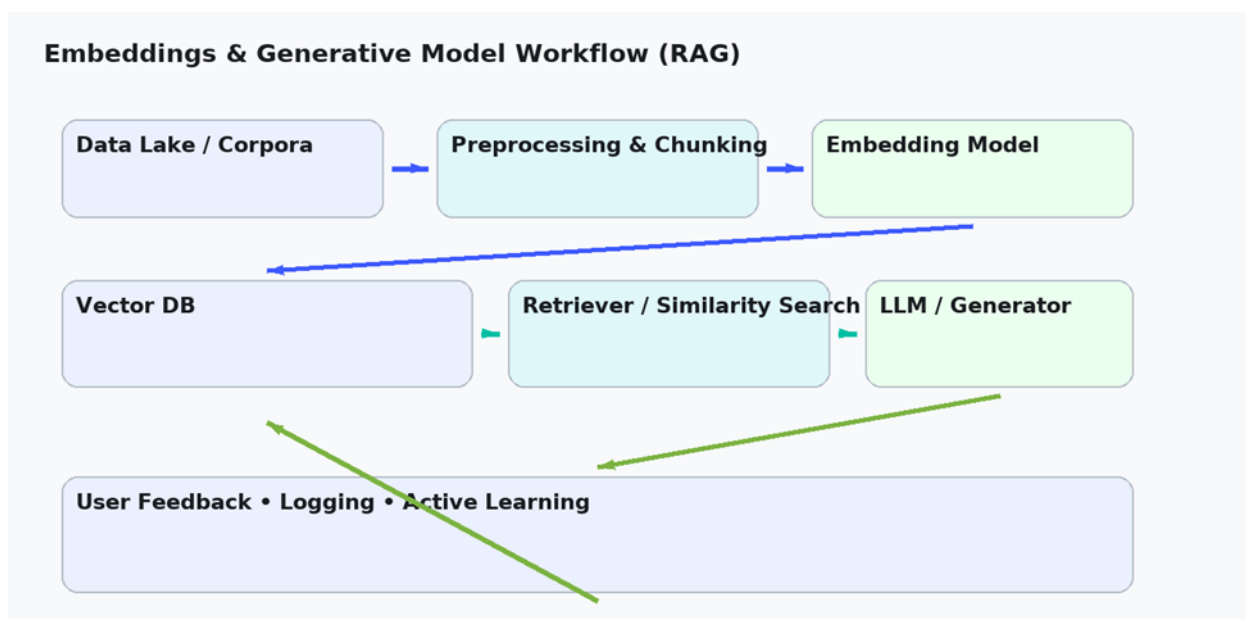


Рисунок 3 - Цикл работы с embeddings в генеративной системе (RAG)

Это схема типичного контура RAG (Retrieval-Augmented Generation), где вокруг генеративной модели выстроен «пояс» из данных и поисковых механизмов.

Верхний ряд отражает офлайн-поток подготовки корпуса. Слева аккумулируются источники (datalake: документы, код, страницы, медиа). Далее идёт санитария и «нарезка» — текст нормализуют, убирают мусор, разбивают на фрагменты удобного размера, чтобы их потом можно было адресовать по смыслу. На следующем шаге специальная модель кодирует каждый фрагмент в числовой вектор. Эти векторы — компактные смысловые отпечатки — и станут основой для поиска. Длинная синяя стрелка намекает, что после кодирования данные попадают в векторное хранилище и этот процесс периодически повторяется пакетами: новые документы доезжают, старые переиндексируются.

Средний ряд — это уже онлайн-инференс. Приходит запрос пользователя; модуль-ретривер обращается к векторной БД и по близости векторов быстро находит несколько наиболее подходящих фрагментов (обычно топ-К). Возможна фильтрация по метаданным: язык, дата, доступ. Отобранные кусочки передаются генеративной модели в качестве контекста, и та формирует ответ — не «из головы», а опираясь на найденные материалы. За счёт этого ответы становятся актуальнее и проверяемее, а сама модель может быть компактнее, потому что часть «знаний» хранится снаружи.

Нижняя полоса отвечает за контур улучшений. Здесь собираются логи, оценки пользователей, сигналы активного обучения. Зелёные стрелки показы-

вают два канала обратной связи: один возвращается к ретриверу (настраиваются пороги, переранжирование, словари синонимов), второй — к векторной базе (добавление или исправление документов, повторное кодирование, переиндексация). Если пользователи часто правят ответы по определённой теме, эти примеры переходят в «тяжёлые» кейсы для тонкой настройки или дообучения модели.

Рисунок 3 не просто перечисляет блоки, а показывает живой цикл: корпус поступает и чистится, фрагменты кодируются и индексируются, на запросах выполняется быстрый смысловой поиск, генератор собирает итог и отправляет его пользователю, а наблюдение за качеством возвращает сигналы назад, чтобы подстроить ранжирование и обновить базу. Именно эта петля — «подготовка → поиск → генерация → обратная связь → обновление» — и делает RAG-систему устойчивой к изменчивым данным и требованиям.

Интеграция баз данных и генеративных моделей

Интеграция строится вокруг обучения, инференса и эксплуатации. В обучении важны стабильная подача данных и воспроизводимость; в инференсе — минимальная задержка семантического поиска; в эксплуатации — аудит, трекинг качества ответов и управление версиями корпусов. В облачных сценариях используют многорегиональные развертывания, кросс- региональную репликацию и периметральные кэши (CDN).

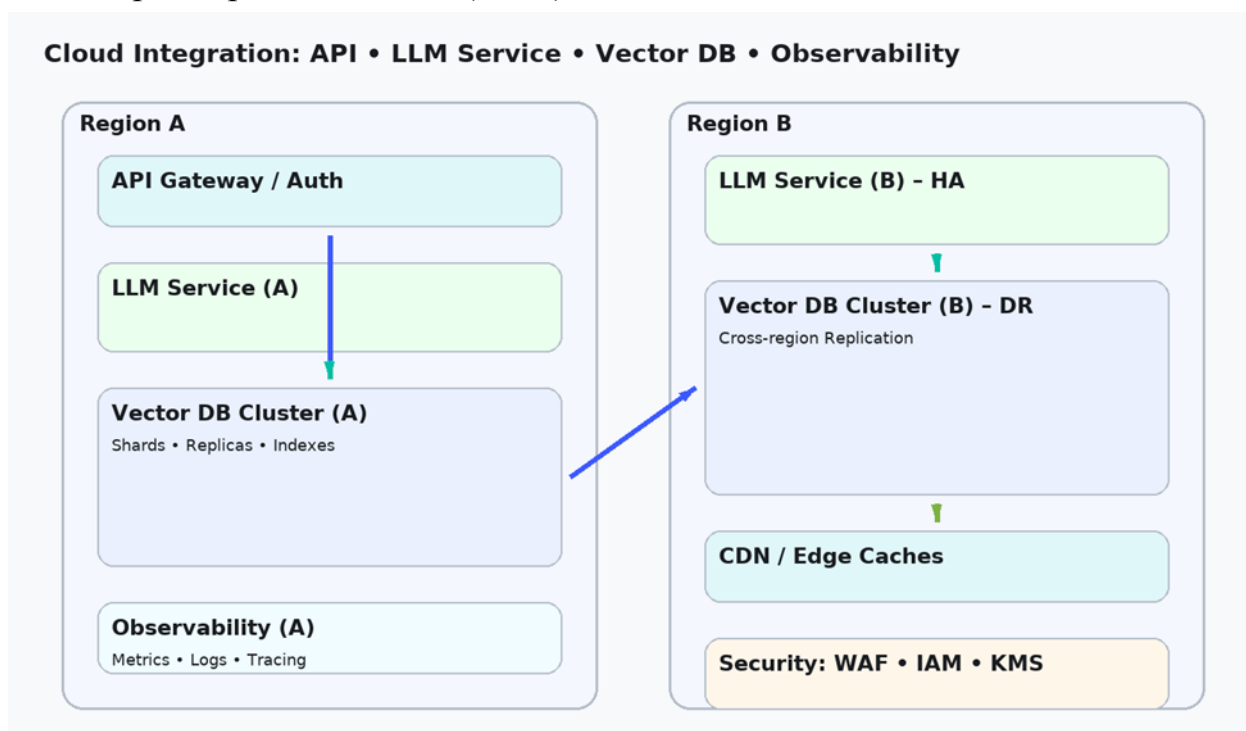


Рисунок 4 – Интеграция базы данных и LLM в облачной среде

На схеме показана «бóевая» раскладка сервиса с генеративной моделью в облаке, разнесённая по двум регионам. Левый блок — основной регион А, правый — резервный регион В. Идея в том, чтобы весь путь запроса — от входа пользователя до чтения из векторного индекса и обратно — работал даже при частичных отказах и был прозрачно наблюдаем.

Обычный сценарий выглядит так. Запрос приходит в регион А через шлюз API: здесь проходят аутентификация, лимиты, базовые проверки. Далее управление получает сервис LLM. Когда модели нужен фактический контекст (справки, документы, ответы предыдущих пользователей), она обращается вниз — к кластеру векторной БД этого же региона. Отсюда и вертикальная стрелка: генератор не тянет «знания» изнутри, а подтягивает релевантные фрагменты по семантической близости из внешнего индекса. Кластер хранит шардированный массив векторов с репликами и индексами ANN; это позволяет выдерживать и скорость, и объём.

Правый столбец — «зеркало» первой площадки, но со сдвигом по ролям: здесь сервис LLM помечен как высокодоступный, а кластер векторной БД — как контур аварийного восстановления. Косая синяя стрелка между кластерами означает кросс-региональную репликацию: изменения индексов и новые векторы в А догоняют В. Репликация для векторных структур обычно асинхронная: так снижается задержка в боевом регионе, а резерв догоняет с небольшим лагом. При плановом переключении или аварии трафик переводят в регион В; генератор там работает с локальной копией индекса, не выезжая в соседний регион по сети.

Ниже в регионе В — слой CDN/Edge-кэшей. Он прячет часть нагрузок «на краю»: статики, прогретые подсказки, типовые ответы и даже результаты ретривала с коротким TTL. Это ощутимо уменьшает латентность для пользователей, которые географически ближе к резервной площадке, и помогает переживать всплески. Под всей конструкцией лежит единый контур безопасности: WAF фильтрует нежелательные шаблоны запросов, IAM управляет доступом сервисов к данным и индексам, KMS отвечает за ключи шифрования как «в полёте», так и «на диске».

В регионе А под основной «трассой» находится подсистема наблюдаемости. Она собирает метрики (латентность в разрезе этапов: шлюз → LLM → ретривер → БД), логи и трассировки запросов. Это важно не только для расследования инцидентов: по этим данным настраивают кэширование, меняют параметры индексов, балансируют шарды и аккуратно прогревают рабочие наборы.

Если графики показывают рост задержки на ретривере, можно расширить вычислительные ресурсы индекса или пересобрать его с другими параметрами — и это видно почти в реальном времени.

Проблемы и вызовы

Главные сложности лежат на стыке инженерии, права и эксплуатации. Генеративная модель может выдавать впечатляющие результаты, но любой сбой в цепочке «данные → индексы → инференс» мгновенно превращается в ухудшение качества ответа, рост задержек и регуляторные риски. Ниже — ключевые зоны, с которыми неизбежно сталкивается команда.

Правовой статус данных и управление доступом. Разнородные корпуса тянут за собой лицензионные ограничения, обязанности по удалению (DSAR), требования к хранению персональных данных и географическим границам. Ошибка здесь проявляется не сразу: система работала месяцами, пока кто-то не запросил удаление или не выяснилась некорректная лицензия. Поэтому в хранилище должны жить не только сами документы, но и паспорт набора (datasetcard), отметки о происхождении, хэш-суммы и версия. Для персональных данных привычный «поисково-заменяющий» подход малоэффективен: лучше использовать канонические формы хранения (токенизация с возможностью обратной развязки под контролем KMS) и атрибутивный контроль доступа на уровне строк/колонок, чтобы RAG не вытягивал лишнее в контекст. Безопасность и враждебные воздействия. Генеративные стеки уязвимы на нескольких слоях. В источники могут попадать «отравленные» документы: малозаметные триггеры, которые меняют поведение модели при встрече с конкретной фразой. В контексте RAG часто встречается prompt-injection прямо в извлечённых фрагментах: текст «убедительно» просит игнорировать инструкции и сделать что-то иное. Есть и атакующие методы наподобие membershipinference (попытка понять, был ли конкретный пример в обучении) или modelinversion (восстановление приватных фрагментов). Практика показывает, что лучшим ответом остаётся многоступенчатый контур: подписанные источники и карантин новых потоков, дедупликация и эвристики токсичности на этапе приёма, «песочница» для ретривера (разрешённое подмножество правил), а также постфильтрация ответа. Для диагностики полезны канареечные документы и периодические «красные команды», которые целенаправленно пытаются сломать политику.

Качество корпусов и дрейф. Даже идеально построенный индекс устаревает. Тематические пропорции сдвигаются, свежие факты не попадают в выборку, а старые — продолжает находить ретривер. Симптомы понятны: растёт доля «почти релевантных» фрагментов, увеличивается объём безопорных рассуждений модели. Борются с этим метриками и регламентом: измеряют recall@K и $n\text{DCG}$ на эталонных запросах, следят за совпадением даты документа с датой запроса, заставляют систему «отказываться» (*abstain*), если уверенность ниже порога, а затем планово переиндексируют слой за слоем: горячий кеш — ежедневно, основные сегменты — по расписанию, архив — реже.

Эксплуатация векторных индексов. Индексы дают скорость ценой памяти и сложной настройки. HNSW «ест» ОЗУ и требует аккуратного подбора параметров (M , efConstruction , efSearch): увеличишь — вырастет точность и латентность; уменьшишь — потеряешь документы. IVF/PQ экономит память и ускоряет кандидатов, но вносит квантовочную погрешность. В продакшене это решают ступенчато: грубый отбор на IVF/PQ, затем точный пересчёт расстояний (*rerank*) на небольшом наборе кандидатов. Отдельная боль — переиндексация. Полная перестройка на многомиллиардном корпусе занимает часы; поэтому делают *rolling*-переиндексацию, временно держат две версии индекса и переключают маршрутизацию по готовности. В распределённых развёртываниях ловят лаг репликации между регионами и «расхождение» шардов; помогает только телеметрия и регулярные сверки контрольных сумм.

Производительность и стоимость. Векторные витрины растут быстрее, чем «обычные» БД: один документ порождает десятки фрагментов, каждый — свой *embedding*. Память и диски набухают, бюджет на GPU для ANN-поиска упирается в потолок. Здесь нет серебряной пули, но работает набор приземлённых мер: агрессивная дедупликация «почти дублей», квантование до 8/4 бит там, где это приемлемо, хранение «холодных» сегментов в сжатом виде, жёсткие TTL на кэшах и отказ от бессрочных логов. Энергетическая часть тоже чувствительна: ночные окна для тяжёлых задач, планировщики с учётом углеродного следа, перенос вычислений в регионы с более «зелёной» генерацией.

Этика и контентная безопасность. Даже с чистыми данными модель может усиливать предвзятость, воспроизводить токсичную лексику или выдавать медицинские рекомендации без оснований. Здесь помогают не только фильтры, но и организационные меры: явные рубежи ответственности (что система не делает), журнал причин отказа, внутренние процедуры эскалации для спорных случаев. Для пользовательских сценариев с детьми, финансами или медициной

разумно вводить двухступенчатые ответы: сначала фактологическая справка из RAG, затем — «человеческая» часть, где модель аккуратно формулирует выводы и предлагает источник.

Практика показывает, что успешные внедрения строятся на сочетании трёх классов хранилищ: транзакционного, документного и векторного. Такой состав позволяет обеспечить управляемость, масштаб и способность к семантическому поиску. Дальнейшее развитие пойдёт по пути автономизации, повышения безопасности и углубления интеграции с вычислительными средами.

Список литературы

1. Garcia-Molina, H.; Ullman, J.; Widom, J. Database Systems: The Complete Book. – 2nd ed. – Pearson, 2023. – 1248 p.
2. Stonebraker, M.; Hellerstein, J. M. Readings in Database Systems (5th ed.). – MIT Press, 2024. – 620 p.
3. Pinecone. Vector Database for Machine Learning. – Режим доступа: <https://www.pinecone.io/>, свободный. – Дата обращения: 10.09.2025.
4. Weaviate. Open-Source Vector Database. – Режим доступа: <https://weaviate.io/>, свободный. – Дата обращения: 09.09.2025.
5. Milvus. Open-Source Vector Database for AI. – Режим доступа: <https://milvus.io/>, свободный. – Дата обращения: 12.09.2025.
6. FAISS (Facebook AI Similarity Search). – Режим доступа: <https://github.com/facebookresearch/faiss>, свободный. – Дата обращения: 15.09.2025.
7. Timescale Inc. TimescaleDB Documentation. – Режим доступа: <https://docs.timescale.com/>, свободный. – Дата обращения: 15.09.2025.
8. InfluxData. InfluxDB Documentation. – Режим доступа: <https://docs.influxdata.com/>, свободный. – Дата обращения: 15.09.2025.
9. OpenAI. Retrieval-Augmented Generation: Best Practices. – Режим доступа: <https://platform.openai.com/>, свободный. – Дата обращения: 15.09.2025.

References

1. Garcia-Molina, H., Ullman, J., & Widom, J. Database Systems: The Complete Book (2nd ed.). Pearson, 2023. – 1248 p.
2. Stonebraker, M., & Hellerstein, J. M. Readings in Database Systems (5th ed.). MIT Press, 2024. – 620 p.

3. Pinecone. Vector Database for Machine Learning. Available at: <https://www.pinecone.io/>. Accessed: September 10, 2025.
4. Weaviate. Open-Source Vector Database. Available at: <https://weaviate.io/>. Accessed: September 9, 2025.
5. Milvus. Open-Source Vector Database for AI. Available at: <https://milvus.io/>. Accessed: September 12, 2025.
6. FAISS (Facebook AI Similarity Search). Available at: <https://github.com/facebookresearch/faiss>. Accessed: September 15, 2025.
7. Timescale Inc. TimescaleDB Documentation. Available at: <https://docs.timescale.com/>. Accessed: September 15, 2025.
8. InfluxData. InfluxDB Documentation. Available at: <https://docs.influxdata.com/>. Accessed: September 15, 2025.
9. OpenAI. Retrieval-Augmented Generation: Best Practices. Available at: <https://platform.openai.com/>. Accessed: September 15, 2025.

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНТЕРНЕТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ДИФФУЗИИ

О.В. Оксюта, А.А. Рублева, Т.В. Скворцова

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

Диффузия инноваций представляет собой процесс распространения новых технологий, продуктов и практик в социальной системе. Изучение моделей диффузии инноваций позволяет прогнозировать темпы и масштабы проникновения новых технологий, что необходимо для эффективного управления инновационными процессами. В связи с этим особую актуальность приобретает исследование закономерностей диффузии инноваций в сфере информационно-коммуникационных технологий, в частности, технологий доступа в Интернет. Поиск наиболее подходящей модели с учетом внутренних особенностей стран позволит более точно прогнозировать распространение глобальной инновации.

Ключевые слова: диффузия инноваций, моделирование, Интернет, модели диффузии инноваций.

ANALYSIS OF INTERNET DIFFUSION BASED ON DIFFUSION MODELS

O.V. Oksyuta, A.A. Rubleva, T.V. Skvortsova

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

The diffusion of innovations is the process of spreading new technologies, products and practices in the social system. The study of innovation diffusion models makes it possible to predict the pace and scale of penetration of new technologies, which is necessary for effective management of innovation processes. In this regard, the study of the patterns of diffusion of innovations in the field of information and communication technologies, in particular, Internet access technologies, is of particular relevance. The search for the most suitable model, taking into account the internal

characteristics of countries, will make it possible to more accurately predict the spread of global innovation.

Keywords: diffusion of innovations, modeling, Internet, models of diffusion of innovations.

В наше время Интернет – это одно из средств оперативного доступа к данным через веб-сайты и гиперссылки. Это обширная сеть, соединяющая компьютеры по всему миру.

Интернет в России появился в 1990-х. По одной версии, он появился 7 апреля 1994 года, когда в нашей стране был зарегистрирован первый домен. Согласно другой версии, 28 августа 1990 года. В этот день ученые на компьютере в Институте атомной энергии имени И.В. Курчатова связались с учеными из университета Хельсинки с помощью модема, чтобы регулярно передавать почту по интернету.

Сейчас Интернет является неотъемлемой частью жизни большинства людей, его использование распространилось по всем странам и уголкам мира. Согласно отчету Datareportal, We Are Social и Meltwater Digital к середине 2008 года число пользователей, регулярно использующих Интернет, составляло около 1,5 млрд человек (около четверти населения Земли), сейчас им пользуются более 66% всех людей на Земле. Общее число пользователей в мире составляет 5,35 миллиарда. За последний год это количество увеличилось на 97 млн [2].

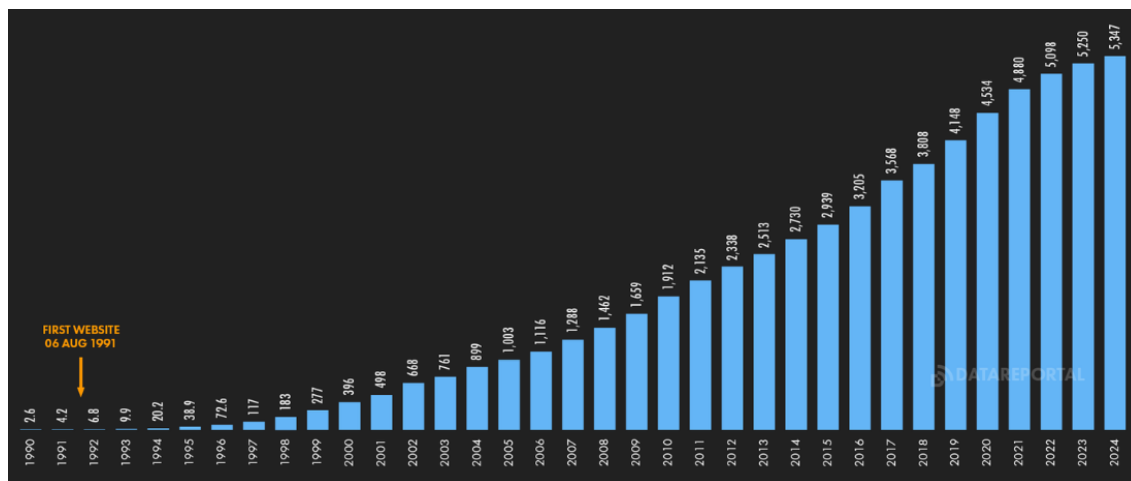


Рисунок 1 – Динамика пользователей Интернета в мире [2]

Идеи, подобные интернету, обладают удивительной способностью быстро распространяться в обществе или, наоборот, исчезать. Для анализа этого явления была разработана теория диффузии инноваций, которая разъясняет меха-

низмы, причины и моменты, когда новшества принимаются и становятся популярными среди людей.

Концепция диффузии вовсе не является новой. В 1920-х и 1930-х годах этот феномен начал активно исследоваться учеными. Позже, в 1962 году, профессор социологии Э. Роджерс в своей книге «Диффузия инноваций» предоставляет аргументы, поясняющие процесс диффузии новшеств. В соответствии с его определением: «Диффузия – это процесс, в ходе которого инновация передается через определенные каналы среди участников социальных систем на протяжении времени» [4].

На сегодняшний день существует множество моделей диффузии, которые применяются для изучения инновационных процессов. Все они демонстрируют S-образные кривые и выделяют три ключевые стадии внедрения новых продуктов: привлечение первых пользователей (медленный рост); резкое увеличение, когда всё больше людей начинают знакомиться с инновацией; насыщение, характеризующееся замедлением темпов роста.

В работе анализировалось распространение интернета на наиболее популярных моделях: модель Фишер-Прай, модель Гомперца и модель Басса.

Таблица 1 – Модели диффузии

Название	Вид модели	Вид $f(t)$
Фишер-Прай	$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \frac{(1 - f(t))}{1}$	$f(t) = \frac{1}{1 + \beta e^{-bt}}$
Басс	$\frac{df(t)}{dt} = a(1 - f(t)) + \frac{bf(t)((1 - f(t)))}{1}$	$f(t) = \frac{1 - e^{-kt}}{1 + qe^{-kt'}}$ $k = a + b, q = \frac{b}{a}$
Гомперц	$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \ln \frac{(f(t))}{M}$	$f(t) = Me^{-ae^{-bt}}$

Процесс моделирования заключается в определении параметров моделей, при которых полученная траектория распространения инновации будет наилучшим образом аппроксимировать реальные данные. В качестве критерии оценки адекватности модели выбран минимум суммы квадратов отклонений данных, который показывает, насколько модельные значения отличаются от реальных. Для оценки параметров модели и вычисления минимума функционала в работе используются метод наименьших квадратов (МНК) и методы нелиней-

ной оптимизации. Так как уравнение для S-образной кривой по модели Фишера-Прая допускает линейреализацию, то для оценки параметров этой модели будет использовать МНК, а для моделей Басса и Гомперца – методы нелинейной оптимизации.

В работе был проведен анализ развития и распространения интернета по 2 континентам: Европа и Африка. Анализировался период с 2009 по 2024 год, составлялся прогноз по моделям за январь, февраль, март и апрель 2025 г. Качество модели оценивалось по критерию суммы квадратов отклонений модельных значений от реальных данных. Выбиралась модель, которая наилучшим образом отражает распространение и имеет наибольшую точность прогноза.

Европа находится в числе регионов с высоким уровнем информатизации и доступа к технологиям. Для Европы были определены коэффициенты модели регрессии для модели Фишера-Прая: $\beta=62,84214$, $b=0,028513$.

В итоге получили следующее уравнение:

$$f_1(t) = \frac{1}{1 + 62,84214 * e^{0,028513t}}$$

Полученная модель является адекватной, т.к. коэффициент $R^2=0,874716$, критерий $F_{\text{стат}} = 1242,77 > F_{\text{табл}} = 3,9$, $t_{\text{стат}} = 35,25 > t_{\text{табл}} = 1,97$. Сумма квадратов отклонений по модели Фишера-Прая составила $S = 1,4265$. Графически модель Фишера-Прая для Европы имеет вид:

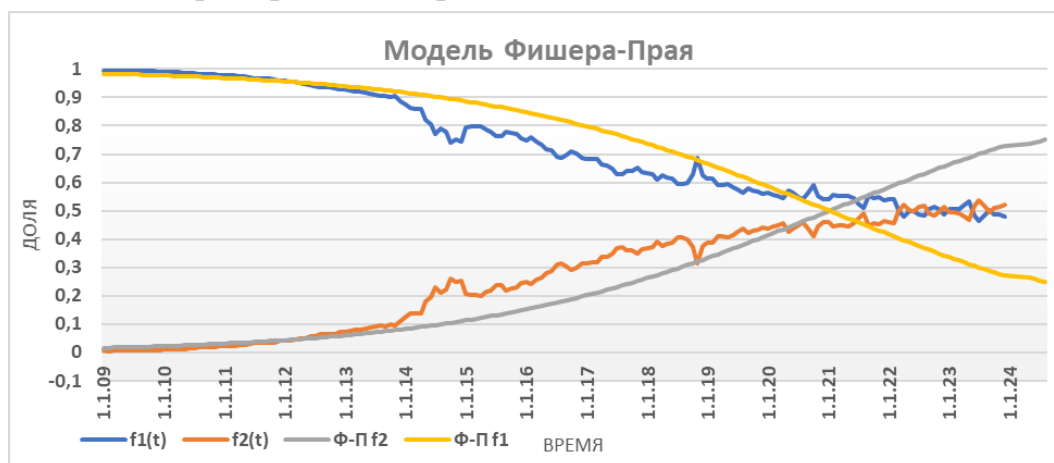


Рисунок 2– Модель Фишер-Прая для Европы

Были получены следующие параметры для модели Басса, минимизирующие функционал ошибки: $a = 0,002271$, $b = 0,008814$, $K=0,011085$, $q = 3,881646$. Таким образом, уравнение модели принимает вид:

$$f_1(t) = \frac{1 - e^{-0,011085t}}{1 + 3,881646 * e^{-0,011085t}}$$

Сумма квадратов отклонений по модели Басса составила $S = 0,2443$. Полученные результаты по модели Басса представлены на графике:

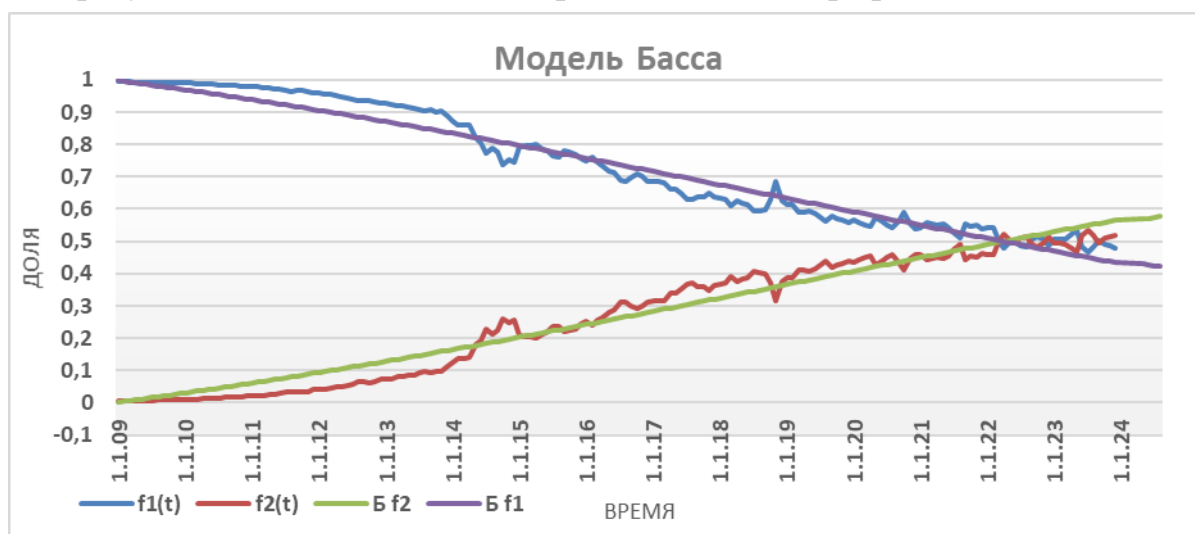


Рисунок 3– Модель Басса для Европы

Аналогичным образом были получены коэффициенты модели Гомперца: $a=6,6388$, $b=0,0261$, $m = 0,5339$, что говорит о том, что потенциальный процент пользователей Интернета с мобильных устройств равен 54%. Модель принимает вид:

$$f_1 = \exp(-6,6388 * \exp(-0,0261))$$

Сумма квадратов отклонений составляет $S = 0,06$. График имеет вид:

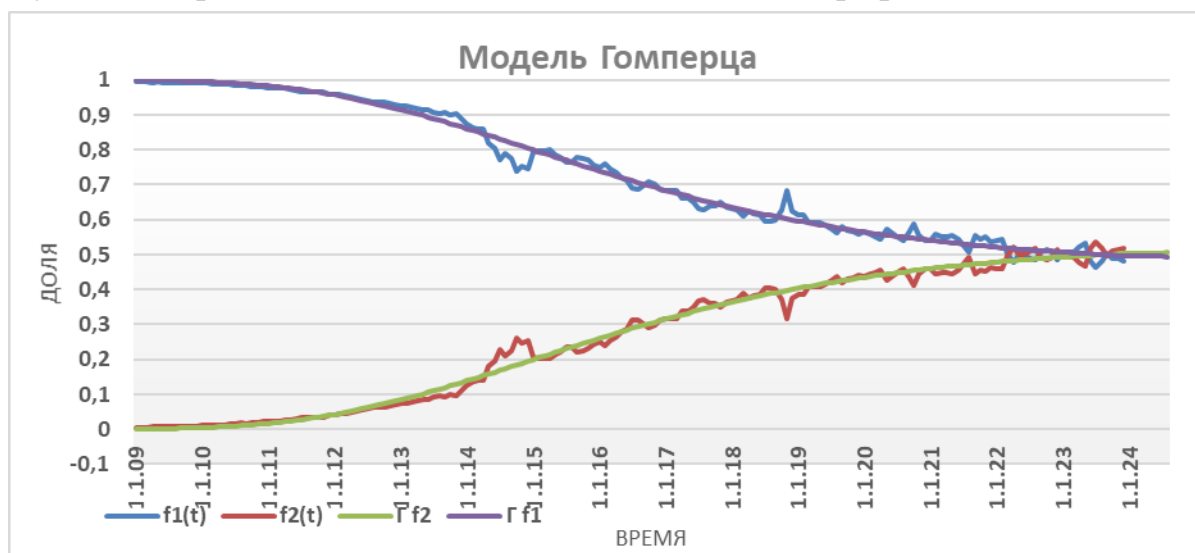


Рисунок 4– Модель Гомперца для Европы

Теперь рассмотрим отклонения по каждой модели(таб.2).

Как можно заметить, модель Гомперца хорошо отражает тенденцию распространения технологий доступа в Интернет. Сумма квадратов отклонений

для данной модели имеет наименьшее значение из рассмотренных. Все полученные ошибки находятся в рамках допустимых погрешностей, что является хорошим результатом прогнозирования.

Таблица 2 – Сравнение отклонений по моделям для Европы

Дата	Ф-П	Басс	Гомперц
01.01.25	43,67	11,16	-1,55
01.02.25	47,25	13,70	0,31
01.03.25	44,90	11,68	-1,87
01.04.25	46,89	13,01	-1,09

Согласно прогнозу, доли пользователей, выходящих в Интернет с ПК и мобильных устройств, к концу года будут приблизительно одинаковы. Это объясняется тем, что в странах Европы хорошо развит как мобильный интернет, так и фиксированный, большая доля населения пользуется и тем, и другим.

В противовес Европе бала рассмотрена Африка, уровень проникновения Интернета в которой остается самым низким по сравнению с другими континентами, хотя и наблюдается быстрый рост пользователей сети. Мобильная связь является преобладающим видом доступом в Интернет здесь, так как стоимость смартфона и оплата мобильного интернета являются дешевле.

В ходе построения моделей для Африки было замечено, что данные по Африке характеризуются постоянным изменением соотношения долей, что приводит к неэффективности используемых моделей. Точные причины данных скачков нельзя определить, но на это могло повлиять несколько факторов: перебои в работе сети и стремительный рост проникновения ПК. В связи с постоянными скачками было принято решение строить прогноз на основе данных с 2018 г, когда ситуация была более устойчива.

Таблица 3 – Прогнозные значения по всем моделям для Африки

Дата	Ф-П	Басс	Гомперц
01.05.2025	0,7586	0,9100	0,7671
01.06.2025	0,7609	0,9128	0,7702
01.07.2025	0,7631	0,9155	0,7733
01.08.2025	0,7653	0,9181	0,7764

Графическая интерпретация модели с наилучшим результатом представлена на рисунке:

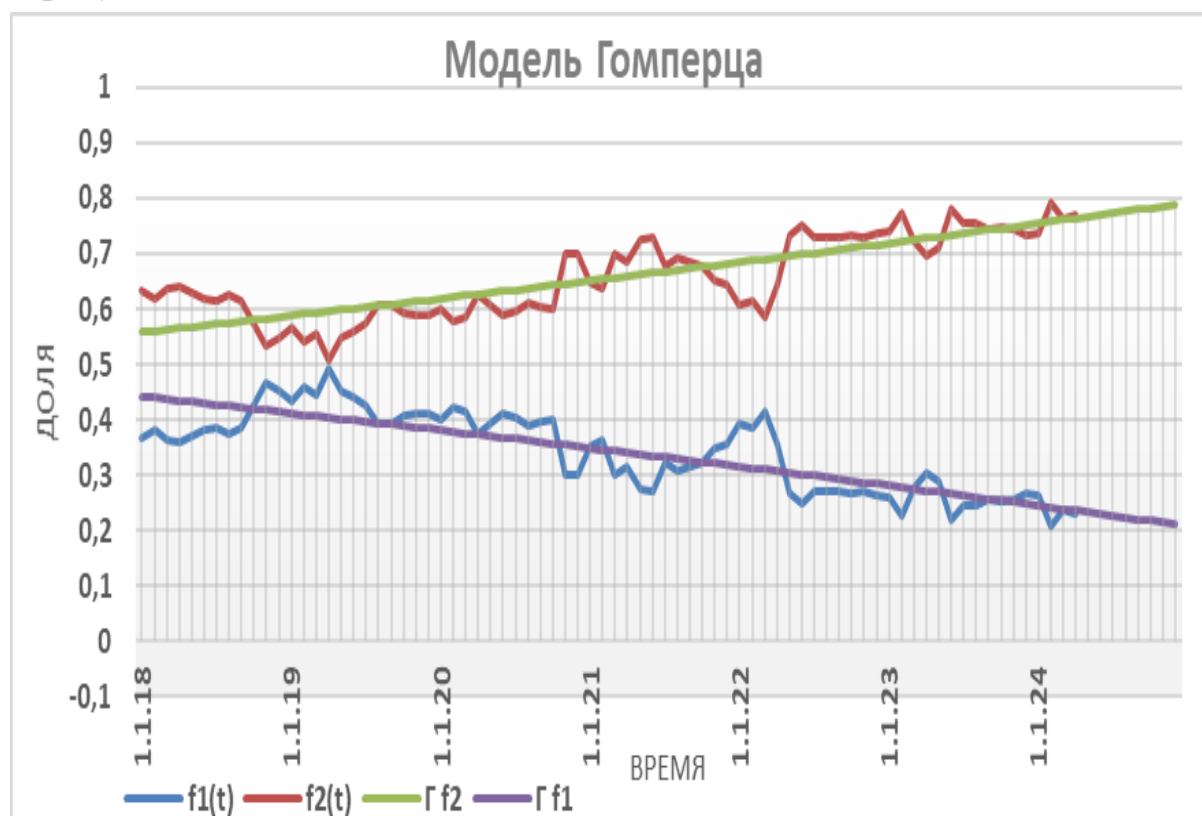


Рисунок 5– Модель Гомперца для Африки

Данный прогноз показывает высокую долю мобильных устройств, как средства выхода в Интернет, в среднем 77,5%.

Таким образом, диффузионные модели, основанные на эпидемическом подходе, способны достаточно точно передавать долгосрочные тенденции распространения глобальных инноваций. В рамках данного исследования были проанализированы три модели. Однако на практике существует обширный выбор различных моделей, поэтому для более глубокого анализа рекомендуется использовать комплексный подход, учитывающий несколько моделей одновременно.

Список литературы

1. Глобальная статистика Statcounter. – URL: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/> (дата обращения: 05.01.2025)
2. Datareportal, We Are Social и Meltwater Digital. – URL: <https://datareportal.com/> (дата обращения: 05.01.2025)
3. Rogers E. M. Diffusion of Innovations. /E.M. Rogers //4th ed.- New York. - 1995. – С. 15-185.
4. Rogers E.M. Diffusion of Innovations. / E.M. Rogers// (5th ed.) New York: Free Press, 2003. – С. 1-85.

References

1. Statcounter Main statistics. – URL: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/> / (date of request: 05.01.2025)
2. Information portal, we are in social networks and Meltwater Digital. – URL: <https://datareportal.com/> / (date of request: 05.01.2025)
3. Rogers E.M. Spreading innovations. /E.M. Rogers //4th ed.- New York. - 1995. – pp. 15-185.
4. Rogers E.M. The spread of innovation. / E.M. Rogers// (5th ed.) New York: Free Press, 2003. pp. 1-85.

АНАЛИЗ ДАННЫХ С КРИПТОВАЛЮТНЫХ БИРЖ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АРБИТРАЖНОГО ТРЕЙДИНГА

А.Г. Парамонов, О.В. Оксюта

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

Целью данной статьи является определение возможностей и способов анализа данных по существующим и реализованным предложениям на криптовалютных биржах для применения в системе поддержки принятия решений для арбитражного трейдинга. Выделены основные источники информации, на их основе сформирована методика отбора релевантных признаков для математических моделей. Проведена оценка применимости полученных результатов, которая показала пригодность данной модели к использованию в системах поддержки принятия решений.

Ключевые слова: арбитраж, криптовалюта, машинное обучение, анализ данных, прогнозирование, метод наименьших квадратов, рекуррентные нейронные сети.

ANALYSIS OF DATA FOR FORECASTING SALES BY THE MOVING AVERAGE METHOD

A.G. Paramonov, O.V. Oksyuta

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

The purpose of this article is to identify the capabilities and methods for analyzing data from existing and implemented offerings on cryptocurrency exchanges for use in a decision support system for arbitrage trading. Key sources of information are identified, and a methodology for selecting relevant features for mathematical models is developed based on these sources. An applicability assessment of the obtained results is conducted, demonstrating the suitability of this model for use in decision support systems.

Key words: arbitrage, cryptocurrency, machine learning, data analysis, forecasting, least squares method, recurrent neural networks.

Арбитраж, по своей сути, является способом заработка, основанном на разнице между покупкой и продажей актива. Положительное сальдо операции есть чистая прибыль трейдера. Арбитраж фондового и криптовалютного рынка во многом схож между собой. Однако на традиционных биржах торговать по данной схеме сложнее, так как разница в котировках очень незначительна. Криптовалютный трейдинг дает больше возможностей для такого вида заработка из-за большей ликвидности.

Криптовалютные биржи предоставляют API для доступа к книгам ордеров. Книга ордеров — это стриминг-система реального времени, построенная на изменениях состояния, где каждая новая заявка, отмена или исполнение — это событие, влияющее на поведение других участников.

На уровне публичных API — например, WebSocket-интерфейса Binance или Bybit — стакан представляет собой последовательность срезов состояний и обновлений. Срез состояния содержит пары цен и объемов на стороне покупки и продажи. Обновления к нему можно получать через WebSocket-интерфейс.

В качестве данных для обучения будем использовать завершённые, а не открытые, сделки, так как именно они отражают реальный курс валюты.

Для сбора, обработки и анализа данных будем использовать язык программирования python.

После предварительной обработки данных применяются статистические модели и модели машинного обучения для выявления возможностей арбитража. Статистический арбитраж основан на принципе возврата к среднему для выявления расхождений цен. Пусть $P_i(t)$ представляет цену криптовалюты на бирже i в момент времени t . Спред между двумя биржами i и j можно выразить как:

$$S_{ij}(t) = P_i(t) - P_j(t)$$

Возможность арбитража возникает, когда абсолютное значение спреда превышает заданный порог τ :

$$|S_{ij}(t)| > \tau$$

Модели машинного обучения, такие как случайные леса и нейронные сети, предлагают более сложную альтернативу, улавливая сложные закономерности в данных. Эти модели обучаются на исторических данных цен, чтобы пред-

сказывать будущие ценовые движения и определять оптимальные точки для арбитражных сделок. Теория графов предоставляет ещё один мощный инструмент для моделирования криптовалютных рынков, где биржи представлены узлами, а ценовые взаимосвязи – рёбрами. Применяя такие алгоритмы, как кратчайший путь Дийкстры, трейдеры могут определять наиболее эффективные маршруты для проведения арбитражных сделок, минимизируя транзакционные издержки и задержки.

Учёт данных блокчейна в процесс обнаружения арбитража добавляет методологии дополнительный уровень сложности. Данные о транзакциях в блокчейне дают представление о загруженности сети, комиссиях за совершение операций и времени подтверждения, которые могут существенно влиять на выполнение арбитражных сделок. Например, в периоды высокой сетевой активности подтверждения транзакций могут задерживаться, что увеличивает риск изменённых цены или упущенных возможностей. Для учета этого в модель можно включить такие метрики блокчейна, как среднее время подтверждения блока и размер мемпула (объём неподтверждённых транзакций). Пусть $T_c(t)$ обозначает среднее время подтверждения в момент времени t , а $G_f(t)$ — среднюю комиссию за транзакцию. Для оценки возможности проведения арбитражной сделки на основе этих факторов можно определить взвешенную функцию $W(t)$:

$$W(t) = \alpha \cdot T_c(t) + \beta \cdot G_f(t)$$

где α и β — весовые коэффициенты, отражающие относительную важность времени подтверждения и транзакционных комиссий. Если $W(t)$ превышает определённый порог, сделка может быть признана слишком рискованной или дорогостоящей для исполнения.

Анализ настроений в социальных сетях и новостных сводках дополнительно повышает надёжность арбитражной модели, предоставляя ранние предупреждения о рыночных тенденциях, таких как изменения цены, регулирования, объемов продаж. Эту оценку можно интегрировать в арбитражную модель в качестве дополнительной входной переменной, позволяя трейдерам корректировать свои стратегии на основе ожидаемого поведения рынка.

В некоторых исследованиях сравнивается производительность различных стратегий машинного обучения, таких как ARIMA, SVR, RF-Regressor, XGBoost, MLP, LSTM, GRU, CNN или их комбинаций, LSTM+CNN, GRU+CNN. Наилучшие результаты дают рекуррентные нейронные сети, когда

прогноз формулируется как задача регрессии. В случае, когда прогноз определяется как задача классификации, лучший результат модели, построенные на алгоритмах с методом опорных векторов.

Для поиска возможностей арбитража мы будем использовать линейную регрессию, метод наименьших квадратов и LSTM алгоритм. Проводились научные исследования, которые определили, что преимущества сложности моделей в криптовалютах ограничены. Простейшие методы оказываются наиболее эффективными. В частности, часто игнорируемый метод наименьших квадратов заметно превосходит деревья регрессии и нейронные сети.

Особенностью LSTM алгоритма является его плохая способность к экстраполяции данных, то есть он показывает плохие результаты, когда приходится предсказывать тренд, выходящий за пределы диапазона значений обучающих данных. Соответственно такая модель хуже будет предсказывать исторические максимумы и минимумы валют.

В качестве набора данных возьмем стоимость биткоина в конце каждого дня на бирже Binance в период с 11.10.2024 по 11.10.2025. Задачей для модели будет построение прогноза на некоторое количество дней. В качестве вектора признаков будем использовать стоимость биткоина в долларах. Результат работы обученной модели на тестовых данных изображён на рисунке 1.

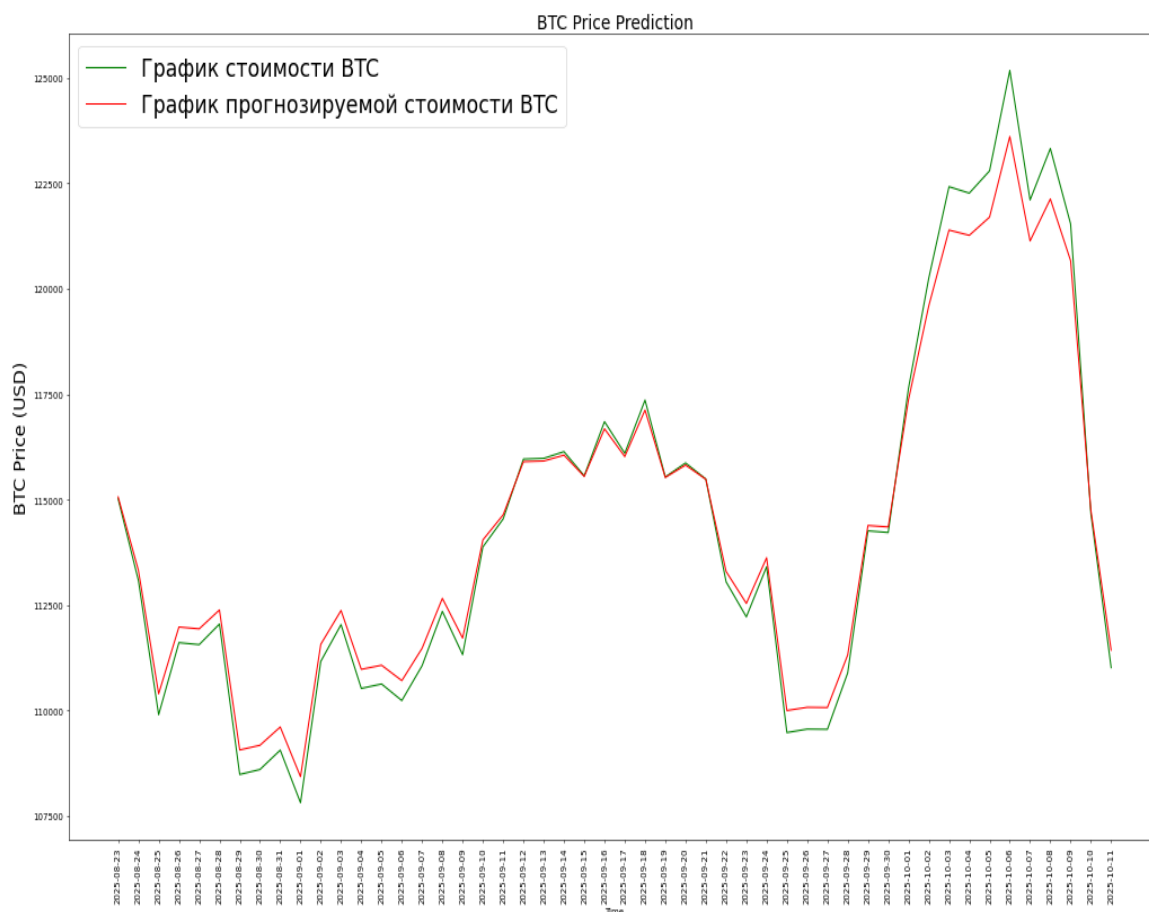


Рисунок 1 – Графики цены BTC

Среднеквадратичная ошибка: 534.393

Средняя абсолютная ошибка: 412.552

Средняя абсолютная процентная ошибка: 0.054

Таким образом, в данной работе разработана процедура отбора данных, переменных и рыночных индикаторов, релевантных для прогнозирования на рынке криптовалют, проведён анализ детализации, временных рамок и признаков данных, используемых для построения прогнозных моделей, реализована модель прогнозирования цен и их соотношений в криптовалютных парах с применением методов машинного обучения, включая линейную регрессию, метод наименьших квадратов и LSTM, а также Выполнена оценка применимости полученных результатов в системах поддержки принятия решений для арбитражного трейдинга. Для повышения точности и надежности модели можно учитывать дополнительные факторы, такие как данные блокчейна (время подтверждения транзакций, размер мемпула), а также анализ настроений в социальных сетях и новостных сводках.

Перспективы дальнейших исследований — интеграция мультимодальных данных, использование гибридных моделей и оптимизация транзакционных издержек с применением методов теории графов. Это позволит создать более адаптивные и устойчивые системы для поддержки автоматизированного арбитражного трейдинга.

Список литературы

1. 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
2. Генкин, А. Д. Блокчейн. Как это работает и что ждёт нас завтра. / А. Д. Генкин, А. А. Михеев ; Альпина Паблишер – Москва, 2017. – 592 с. – Библиогр. ISBN 978-5-9614-5046-0
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

References

1. Genkin, A. D. Blockchain. How it works and what awaits us tomorrow. / A. D. Genkin, A. A. Mikheev; Alpina Publisher – Moscow, 2017. – 592 p. – Bibliography. ISBN 978-5-9614-5046-0
2. 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
3. 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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ ТОВАРНЫХ ЗНАКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

К.В. Переславцев, К.В. Зольников

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

В работе рассмотрены подходы к моделированию процесса создания товарных знаков с использованием искусственных нейронных сетей. Проведен анализ современных генеративных архитектур, применяемых для визуального дизайна, включая диффузионные модели и генеративно-сопоставительные сети (GAN). Предложена концептуальная модель системы автоматизированного проектирования товарных знаков, включающая этапы обучения, генерации и оценки оригинальности изображений. Рассмотрены критерии оценки эстетического качества и уникальности создаваемых знаков. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации творческих процессов в области брендинга и разработки корпоративной идентичности.

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронные сети, генеративный дизайн, моделирование, товарный знак, компьютерное зрение, машинное обучение.

MODELING THE TRADEMARK GENERATION PROCESS USING NEURAL NETWORK

K.V. Pereslavytsev, K.V. Zolnikov

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

The paper discusses approaches to modeling the process of trademark creation using artificial neural networks. An analysis of modern generative architectures used in visual design, including diffusion models and generative adversarial networks (GANs), is presented. A conceptual model of an automated trademark design system is proposed, including the stages of training, generation, and originality assessment of images. The criteria for evaluating the aesthetic quality and uniqueness of generated signs are considered. The obtained results can be applied to optimize creative processes in branding and corporate identity development.

Key words: artificial intelligence, neural networks, generative design, modeling, trademark, computer vision, machine learning.

В современном мире визуальная идентичность бренда играет ключевую роль в формировании его конкурентных преимуществ. Создание торговых марок требует не только творческого подхода, но и глубокого понимания визуальной семантики, что делает этот процесс трудоемким и субъективным. Развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) открывает возможности для автоматизации этапов проектирования и оптимизации процесса принятия творческих решений.

Целью данной работы является моделирование процесса генерации товарного знака с использованием нейронных сетей, что позволяет повысить эффективность и качество разработки визуальных символов для брендов.

Традиционные методы графического дизайна исторически основывались на ручном труде и профессиональном опыте дизайнеров. Процесс создания логотипа включает в себя несколько этапов: анализ целевой аудитории и рынка, генерацию идеи, создание эскиза, выбор цветовой гаммы, шрифтов и композиции, а затем многократное согласование с клиентом. Основными используемыми инструментами являются Adobe Illustrator, CorelDRAW, Figma и другие пакеты компьютерной графики.

Однако у этих подходов есть ряд ограничений — высокая зависимость от субъективного восприятия, значительные временные затраты, ограниченная масштабируемость и трудности с объективной оценкой эстетического качества. Эти проблемы стали предпосылками для применения искусственного интеллекта в задачах визуального дизайна.

Современные подходы к созданию торговых марок с использованием ИИ можно разделить на два уровня: технологический и прикладной.

На технологическом уровне рассматриваются архитектуры генеративных моделей, лежащие в основе большинства ИИ-инструментов визуального дизайна:

- Генеративно-сопоставительные сети (GAN) — состоят из двух нейронных сетей (генератора и дискриминатора), которые обучаются в режиме соревнования. Применяются для генерации реалистичных изображений и логотипов на основе примеров.
- Диффузионные модели (Diffusion Models) — обеспечивают поэтапное восстановление изображения из шума, что позволяет контролировать стиль и композицию. Именно на них основаны современные системы вроде Stable Diffusion и DALL·E 3.

- Вариационные автоэнкодеры (VAE) — используются для изучения распределений признаков изображений и создания новых комбинаций элементов дизайна.

- Трансформерные архитектуры (Transformers) — применяются для связи текстового описания и визуального контента, позволяя создавать изображения по текстовым подсказкам.

Прикладной уровень – это набор реальных инструментов, использующих указанные архитектуры для решения практических задач брендинга и дизайна:

Таблица 1 – Сравнительный анализ ИИ инструментов для создания логотипа

Инструмент	Используемая архитектура	Особенности	Применение
Looka	GAN	Генерация логотипов на основе предпочтений пользователя	Создание фирменных знаков и подбор цветовых схем
Brandmark	VAE + Style Transfer	Комбинирует стили и цвета для уникальных дизайнов	Быстрое прототипирование логотипов
Designhill Logo Maker	Diffusion	Генерация изображений по описанию бренда	Разработка лого для бизнеса
LogoAI	Transformer + GAN	Генерация на основе текстовых подсказок и анализа трендов	Создание адаптивных логотипов
DALL·E 3 / Midjourney	Diffusion / Transformer	Универсальные генераторы изображений высокого качества	Прототипирование и эксперименты с визуальными идеями

Искусственный интеллект уже активно применяется в задачах:

1. генерации логотипов и айдентики (Looka, LogoAI, Brandmark);
2. автоматического подбора цветовых палитр и шрифтов;
3. адаптации визуальных решений под различные носители;
4. анализа эмоционального восприятия бренда по визуальным данным.

Инструменты, управляемые искусственным интеллектом, не только ускоряют процесс проектирования, но и повышают оригинальность и согласован-

ность визуального языка бренда. Такие системы используются крупными компаниями для автоматизации разработки брендбуков, тестирования дизайна и персонализации маркетинговых материалов.

Процесс формализации и реализации автоматического проектирования логотипов выглядит следующим образом: какие входные данные подаются на систему, какие результаты она возвращает, из каких модулей состоит и по каким критериям обучается и выбирает лучшие варианты.

Постановка задачи является первоочередным этапом в реализации проектирования и включает в себя следующее:

- Вход: краткий бриф (текст с описанием бренда и стиля), отрасль, ограничения по цветам и форме, наличие или отсутствие текста, опциональные референсы.
- Выход: набор из k кандидатных знаков (растровые предпросмотры и векторные версии) с оценками по критериям соответствия брифу, оригинальности, простоты и читаемости на малых размерах и в монохrome.

Задача формулируется как отображение $f(X) > Z$, где X — пространство брифов и ограничений, Z — множество возможных логотипов. Параметры модели настраиваются в процессе обучения.

Архитектура системы, с помощью которой проектируются и формализуются вводные данные состоит из следующих элементов:

- Преобразование брифа — кодирование текста и референсов в числовые представления (эмбединги), которые понимает модель, например текстово-визуальные эмбединги наподобие CLIP.
- Генератор изображений — нейромодель (GAN или Diffusion), которая порождает множество вариантов с учетом эмбедингов и технических ограничений: палитра, соотношение сторон, уровень детализации.
- Блок оценки — набор проверок и метрик: соответствие брифу (сходство текст—изображение), оригинальность (перцептуальная дистанция до известных логотипов), простота и узнаваемость (число цветов, плотность контуров, симметрия, контраст), масштабируемость (читабельность при сильном уменьшении, монохромный тест), техническая корректность (готовность к векторизации, минимальная толщина линий).
- Отбор и ранжирование — агрегирование метрик и выбор топ- k кандидатов.

- Постобработка — упрощение форм, выравнивание, симметрирование, автоматическая векторизация и экспорт в SVG или PDF.

Алгоритм создания изображения с помощью модели следующий: получаем бриф и ограничения и кодируем их в эмбединги. Далее генерируем N черновых вариантов и считаем метрики (соответствие, оригинальность, простота, масштабируемость). Затем ранжируем и отбираем топ- k и упрощаем и векторизуем. Заключительным шагом передаем финальные кандидаты дизайнеру и заказчику.

При обучении генератора задается несколько целей одновременно и складываем их с весами по следующей формуле:

$$L = \alpha * L_{adv} + \beta * L_{style} + \gamma * L_{uniqueness}$$

Смысл такой: говорим модели, к чему стремиться.

- L_{adv} (adversarial loss) — реалистичность изображения, отсутствие артефактов, чистые контуры.
- L_{style} (style loss) — близость к требуемому стилю, например минимализм или геометричность. Измеряется через сравнение признаков изображения с эталонными примерами стиля.
- $L_{uniqueness}$ — поощрение новизны и штраф за похожесть на существующие знаки по признаковому сходству.

Коэффициенты α , β , γ — это «ползунки важности». Если нужно строже следовать стилю, повышаем β . Если важнее новизна, повышаем γ . Часто формулу дополняют членом соответствия брифу (L_{match} , на основе текстово-визуального сходства) и простоты ($L_{simplicity}$, штраф за лишние детали).

Метрики для отбора лучших вариантов:

- Соответствие брифу: текстово-визуальное сходство.
- Оригинальность: перцептуальная дистанция до ближайших логотипов в базе.
- Простота и узнаваемость: ограниченная палитра, низкая детализация контуров, высокая контрастность.
- Масштабируемость: читаемость при 16–24 px и в монохроме.

Интегральный балл для ранжирования может считаться, например, так: $Score = 0.4 * Match + 0.3 * Originality + 0.2 * Simplicity + 0.1 * Technical$. В топ попадают варианты с наибольшим баллом.

Формализуя критерии и шаги процесса, мы переводим творческую задачу в воспроизводимую модель с измеримыми метриками. Это ускоряет поиск

удачных направлений, снижает субъективность и позволяет масштабировать разработку айдентики без замены роли дизайнера — он получает более качественный набор стартовых решений.

Проведенное исследование показало, что использование нейронных сетей для моделирования процесса генерации товарных знаков позволяет значительно сократить временные и трудовые затраты. Применение диффузионных и состоятельных моделей обеспечивает высокий уровень качества изображений и их оригинальности.

В перспективе предполагается развитие системы за счет интеграции модулей семантического анализа текстовых описаний и автоматической оценки соответствия знака концепции бренда.

Список литературы

1. Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A., Bengio Y. Generative Adversarial Nets // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2014. — С. 41-42
2. Karras T., Laine S., Aittala M., Hellsten J., Lehtinen J., Aila T. Analyzing and Improving the Image Quality of StyleGAN // arXiv preprint arXiv:1912.04958, 2019.
3. 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. — С. 2-6
4. Radford A., Kim J. W., Hallacy C., Ramesh A., Goh G., Agarwal S., et al. Learning Transferable Visual Models from Natural Language Supervision // Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML), 2021. — С. 7-11
5. Skillbox. Топ-10 сервисов для создания логотипов с помощью искусственного интеллекта. — URL: <https://skillbox.ru/media/design/10-ai-for-logos/> (дата обращения: 09.10.2025).

References

1. Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A., Bengio Y. Generative Adversarial Nets // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2014. – P. 41-42
2. Karras T., Laine S., Aittala M., Hellsten J., Lehtinen J., Aila T. Analyzing and Improving the Image Quality of StyleGAN // arXiv preprint arXiv:1912.04958, 2019.
3. 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. — P. 2-6
4. Radford A., Kim J. W., Hallacy C., Ramesh A., Goh G., Agarwal S., et al. Learning Transferable Visual Models from Natural Language Supervision // Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML), 2021. — P. 7-11
5. Skillbox. Top 10 services for creating logos using artificial intelligence. – URL: <https://skillbox.ru/media/design/10-ai-for-logos> / (date of access: 09.10.2025).

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТОЙ РАДИОЛИНИИ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ ОХРАНЯЕМОГО ОБЪЕКТА

А.И. Проскурин, Н.Ю. Юдина

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

В работе рассматриваются математические описания моделей обнаружения скрытой радиолинии. Задача обнаружения скрытой радиолинии может быть сформулирована как задача проверки статистических гипотез. Теория статистических решений определяет математическое ядро модели обнаружения скрытой радиолинии. Выбор конкретной математической модели зависит от объема априорной информации о сигнале и характере помех. Наиболее гибким и мощным инструментом для работы в условиях неопределенности являются методы машинного обучения.

Ключевые слова: сигнал, полосовой фильтр, сигнал-шум, байесовский классификатор, вектор признаков, Оптимальное решение.

REVIEW OF MODELS FOR DETECTING A HIDDEN RADIO LINK FROM UNAUTHORIZED ACCESS TO THE INFORMATION OF THE PROTECTED OBJECT

A.I. Proskurin, N.Y. Yudina

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

The paper discusses mathematical descriptions of models for detecting a hidden radio link. The problem of detecting a hidden radio link can be formulated as the problem of testing statistical hypotheses. Statistical decision theory defines the mathematical core of the hidden radio link detection model. The choice of a specific mathematical model depends on the amount of a priori information about the signal and the nature of the interference. Machine learning methods are the most flexible and powerful tool for working under uncertainty.

Keywords: Signal, bandpass filter, signal-to-noise, Bayesian classifier, feature vector, optimal solution.

Модель обнаружения скрытой радиолинии – это многоуровневая система, которая включает сбор исходной информации, ее предварительную обработку и фильтрацию. Кроме этого, рассматриваемая система включает анализ, выявление аномалий и реакцию на обнаружение. Для сбора данных используют сканирующие приемники, спектроанализаторы, антенны и пеленгаторы.

Модуль предварительной обработки включает базу данных легальных сигналов. Эти сигналы отфильтровываются в первую очередь. С целью уменьшения естественных помех производится подавление шумов, а затем выполняется сегментация данных.

Модуль анализа и выявления шумов – интеллектуальное ядро системы. Он использует алгоритмы: «пороговое обнаружение», «спектральный анализ», «анализ модуляции», «статистический анализ» и другие.

Модуль классификации и верификации позволяет сравнить данные с базой угроз. Наивысший приоритет получает угроза, которая располагается внутри охраняемой зоны.

Оповещение с указанием угрозы генерируется модулем реакции и отчетности. Модуль ведет протоколирование событий и данных, а также местоположение объекта наносится на карту.

Для математического описания модели будем использовать классическую теорию обнаружения сигналов. Задача обнаружения скрытой радиолинии может быть сформулирована как задача проверки статистических гипотез.

- 1) Полезный сигнал отсутствует, имеются только шумы и легальные помехи (гипотеза H_0).

$$x(t) = n(t) + i(t)$$

- 2) Полезный сигнал присутствует. Он наблюдается на фоне шума и помех (гипотеза H_1).

$$x(t) = s(t) + n(t) + i(t)$$

Здесь $x(t)$ – принятый сигнал;

$s(t)$ – сигнал скрытой радиолинии;

$n(t)$ – аддитивный белый гауссовский шум с нулевым средним и дисперсией $\sigma_n^2: n(t) \sim N(0, \sigma_n^2)$;

$i(t)$ – совокупность легальных сигналов. Которые можно смоделировать и отфильтровать.

Самый простой метод (Энергетический детектор) основан на измерении мощности сигнала в определенной полосе частот. Здесь для выделения исследуемого диапазона Δf принятый сигнал $x(t)$ пропускается через полосовой фильтр с полосой, которая центрирована на частоте f_0 :

$$x_f(t) = \text{BPF}[x(t)]$$

На этапе предварительной обработки отфильтрованный сигнал возводится в квадрат и интегрируется в течении времени T для того, чтобы оценить его энергии:

$$E = \int_0^T |x_f(t)|^2 dt$$

Или в дискретной форме

$$E = \sum_{k=0}^{N-1} |x_f[k]|^2$$

где N – количество отсчетов за время T , а $x_f(t)$ – отсчеты отфильтрованного сигнала.

Решение о наличии скрытого сигнала принимается, используя полученное значение его энергии с пороговым γ . Если $E \geq \gamma$, то сигнал есть. При $E \leq \gamma$ сигнала нет.

Значение порогового значения γ выбирается из требуемой вероятности ложной тревоги P_{fa} . Вероятность ложной тревоги определяется

$$P_{fa} = P(E > \gamma | H_0) = 1 - F_{x_{2N}^2} \left(\frac{\gamma}{\sigma_n^2} \right)$$

где $F_{x_{2N}^2}$ – функция распределения χ^2 с $2N$ степенями свободы.

Зная желаемую вероятность, можно найти порог

$$\gamma = \sigma_n^2 \cdot F_{x_{2N}^2}^{-1} (1 - P_{fa}).$$

Вероятность правильного обнаружения зависит от отношения сигнал-шум. Если гипотезу H_1 статистика E имеет нецентрализованное распределение χ^2 с параметром не центральности $\lambda = E_s / \sigma_n^2$, где E_s – энергия сигнала $s(t)$.

$$P_d = P(E > \gamma | H_1) = 1 - F_{x_{2N\lambda}^2} \left(\frac{\gamma}{\sigma_n^2} \right)$$

где $F_{x_{2N\lambda}^2}$ – функция нецентрального распределения χ^2 .

К недостатка метода можно отнести низкую помехоустойчивость и неспособность отличить слабый сигнал от мощной помехи.

На современном этапе наибольшее применение находит модель обнаружения скрытых сигналов, которая строится на базе байесовских методов и машинного обучения. Она позволяет бороться с неизвестными параметрами и не гауссовскими помехами.

Ниже описан алгоритм, который основан на базе байесовского классификатора, включает векторизацию наблюдаемых данных, формулировку гипотез в пространстве признаков и применяется для принятия решения.

Для выполнения векторизации данных входной сигнал преобразуют в вектор признаков в том или ином варианте:

1) Вектор отсчетов спектра

$$X = [X_0, X_1, \dots, X_n]$$

где $X_i = |FFT([k])|_i$ – амплитуда на i -ой частотной бине;

2) Вектор статистических признаков

$X = [\mu, \sigma^2, skewness, kurtosis, \dots]$ – среднее, дисперсия, асимметрия, эксцесс и другие;

3) Вектор кепстаральных коэффициентов, который используется для анализа модулирующих сигналов.

После векторизации выполняется формулировка гипотез в пространстве признаков:

1) Вектор признаков $H_0: X \sim p_0(X)$, который распределен по закону характерному для легальных помех и шума;

2) Вектор признаков $H_1: X \sim p_1(X)$, распределен по закону, который характерен для скрытой радиолинии.

Оптимальное решение определяется минимизацией риска. При одинаковой стоимости ошибок решение сводится к отношению правдоподобия:

$$L(X) = \frac{p_1(X)}{p_2(X)} > \gamma$$

где γ – порог, который определяется на основе априорных вероятностей $P(H_0)$ и (H_1) и желаемых вероятностей ошибок.

Сводная математическая модель системы представляет собой каскад этапов:

1) На первом этапе осуществляется пространственно-временная обработка

$$X(f, t, 0) = STFT\{Beamforming[x(t)]\}$$

где *Beamforming* – обработка для усиления сигнала с направления «0»;

STFT – кратковременное преобразование Фурье для получения частотно-временного представления.

2) Вычисление частотно-временного сегмента признаков

$$\Phi = \varphi(X(f, t, 0))$$

3) Для каждого сегмента классификатор определяет бинарное решение $d_i \in \{0, 1\}$.

4) Для снижения ложных тревог применяют последовательный критерий $S_k = S_{k-1} + \log L(\Phi_k)$.

Когда S_k выходит за верхний H_1 или нижний H_0 порог принимается решение. Таким образом, можно учитывать историю наблюдений.

Теория статистических решений определяет математическое ядро модели обнаружения скрытой радиолинии. Выбор конкретной математической модели зависит от объема априорной информации о сигнале и характере помех. Наиболее гибким и мощным инструментом для работы в условиях неопределенности являются методы машинного обучения.

Список литературы

1. Григорьев, Е. К. Основы радиолокации и ЛЧМ сигналов / Е. К. Григорьев. — М.: Радио и связь, 2009. — 320 с.
2. Канатчиков А.А. Сравнительный анализ методов обнаружения и определения параметров зондирующих сигналов РСА космического базирования. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.2>
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.: ил. — (Учебная литература для вузов)
4. Юдина, Н.Ю. О программной реализации метода конечных элементов на примере двумерной задачи плоского напряженного состояния / Н.Ю. Юдина, А.В. Водяницкий // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 68-73.

5. Юдина, Н.Ю. Анализ факторов, оказывающих влияние на надежность структурных элементов сложных вычислительных систем / Н.Ю. Юдина, А.Н. Ковалев // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 86-93.

6. Криптографические алгоритмы Юдина Н.Ю., Лучников В.С., Высоцкий Д.М. В сборнике: Новые аспекты моделирования систем и процессов. Материалы Международной научно-практической конференции. Отв. редакторы В.К. Зольников, А.И. Заревич. Воронеж, 2023. С. 247-255

References

1. Grigor'ev E. K. Osnovy radarokatsii i lchm signalov [Fundamentals of radar and light light signals]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2009. - 320 p.

2. 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>

3. Sergienko A.B. Digital Signal Processing: Textbook. allowance. - 3rd ed. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2011. - 768 p.: ill. — (Educational literature for universities)

4. Yudina N.Yu., Vodyanitsky A.V. On the program implementation of the finite element method on the example of a two-dimensional problem of a plane stressed state / Yudina N.Yu., Vodyanitsky A.V. // Modeling of systems and processes. – 2018. – Т. 11, No 1. – P. 68-73.

5. Yudina N.Yu., Kovalev A.N. Analysis of factors influencing the reliability of structural elements of complex computing systems. – 2017. – Т. 10, No 3. – P. 86-93.

6. Cryptographic algorithms Yudina N.Yu., Luchnikov V.S., Vysotsky D.M. In the collection: New aspects of modeling systems and processes. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Holes. editors V.K. Zolnikov, A.I. Zarevich. Voronezh, 2023. pp. 247-255

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЛИНЕЙНО-ЧАСТОТНО МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

А.И. Проскурин, Н.Ю. Юдина

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

В данной работе рассмотрено моделирование автокорреляционного метода обнаружения линейно-частотно модулированного сигнала с использованием языка программирования Python. Спектр ЛЧМ сигнала формируется с помощью функции *FFT* из состава библиотеки NumPy. Данная функция осуществляет быстрое преобразование Фурье. Анализ разностных частот между исходным и задержанным сигналами в результате использования автокорреляционного метода позволяет выявить ЛЧМ-сигнал.

Ключевые слова: автокорреляция, ЛЧМ-сигнал, Python, амплитуда, спектр

SIMULATION OF AUTOCORRELATION METHOD FOR DETECTING A LINEAR-FREQUENCY-MODULATED SIGNAL USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

A.I. Proskurin, N.Y. Yudina

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

This paper discusses the modeling of an autocorrelation method for detecting a linear-frequency-modulated signal using the Python programming language. The spectrum of the chirp signal is formed using the FFT function from the NumPy library. This function performs a fast Fourier transform. Analysis of the difference frequencies between the original and delayed signals as a result of the use of the autocorrelation method allows you to identify the chim signal.

Keywords: autocorrelation, chirp signal, Python, amplitude, spectrum

Для обнаружения и оценки параметров сигналов наиболее эффективным является автокорреляционный метод. Он позволяет обнаружить периодические особенности сигнала на основе сравнения с его задержанной копией. Автокорреляционный метод обеспечивает выделение ключевых особенностей спектра.

При перемножении исходного и задержанного сигналов возникают комбинационные колебания. Это соответствует сумме и разности полных фаз(2).

$$S_{\times}(t) = s_{\text{вх}}(t) \times s_3(t) = A \cos(2\pi(f_0 t + \varphi(t))) \times A \cos(2\pi(f_0(t - \tau_3) + \varphi(t - \tau_3))) = \frac{A^2}{2} \cos(2\pi(2f_0 t + \varphi(t) + \varphi(t - \tau_3) - f_0 \tau_3)) + \frac{A^2}{2} \cos(2\pi(\varphi(t) - \varphi(t - \tau) + f_0 \tau_3)).$$

ЛЧМ-сигналы часто используют в радиолокации, так как они устойчивы к помехам и обладают высокой энергией.

При использовании автокорреляционного метода на разности частоты между исходным и задержанным сигналами возникает пик. Этот пик позволяет определить параметры сигнала, такие как задержка и частота.

Структурная схема автокорреляционного обнаружителя показана на рисунке 1.

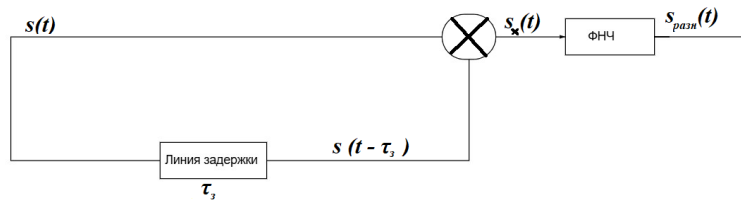


Рисунок 1 – Структурная схема автокорреляционного обнаружителя

Эта схема включает в себя исходный сигнал, линию задержки, задержанный сигнал и фильтр для снижения высоких частот (ФНЧ).

Предположим, что на входе данной схемы поступает сигнал с линейной модуляцией частоты, который определяется следующими выражениями:

$$s(t) = A \cos(2\pi(f_0 t + \varphi(t))), \quad -\frac{\tau_u}{2} < t \leq \frac{\tau_u}{2} \quad (4)$$

$$f_0 = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2}, \quad \varphi(t) = \frac{\gamma t^2}{2}, \quad \gamma = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\tau_u},$$

где A – амплитуда ЛЧМ-сигнала; f_0 – центральная частота; $\varphi(t)$ – функция модуляции; $f_{\max}$, $f_{\min}$ – максимальная и минимальная частота ЛЧМ-сигнала; τ_u – длительность сигнала; γ – скорость изменения частоты.

ЛЧМ-сигнал – это сигнал, частота которого изменяется линейно во времени. Математически ЛЧМ-сигнал можно описать следующим образом:

$$s(t) = A \cos\left(2\pi\left(f_0 t + \frac{B}{2T} t^2\right)\right),$$

где A – амплитуда сигнала, f_0 – начальная частота, B – ширина полосы частот, T – длительность сигнала.

Комбинационные колебания возникают при перемножении исходного и задержанного сигналов, что соответствует сумме и разности полных фаз (6):

$$\begin{aligned} S_x(t) = s_{\text{вх}}(t) \times s_3(t) &= A \cos\left(2\pi(f_0 t + \varphi(t))\right) \times A \cos\left(2\pi(f_0(t - \tau_3) + \varphi(t - \tau_3))\right) \\ &= \frac{A^2}{2} \cos(2\pi(2f_0 t + \varphi(t) + \varphi(t - \tau_3) - f_0 \tau_3)) + \\ &+ \frac{A^2}{2} \cos(2\pi(\varphi(t) - \varphi(t - \tau) + f_0 \tau_3)). \end{aligned}$$

Для моделирования автокорреляционного метода был использован язык программирования Python.

Моделирование ЛЧМ сигнала:

chirp_signal

```
= np.cos(2 * np.pi * (Fc * time + (b / 2)
* np.power(time, 2))) + \
```

```
1j * np.sin(2 * np.pi * (Fc * time + (b / 2) * np.power(time, 2)))
```

Сигнал моделируется в комплексном виде и включает синфазную и квадратурную составляющую:

$$I(t) = \text{np.cos}(2 * \text{np.pi} * (\text{Fc} * \text{time} + (\text{b} / 2) * \text{np.power}(\text{time}, 2)))$$

Реализация квадратурной составляющей отсчетов сигнала

$$Q(t) = \text{np.sin}(2 * \text{np.pi} * (\text{Fc} * \text{time} + (\text{b} / 2) * \text{np.power}(\text{time}, 2)))$$

В результате моделирования ЛЧМ сигнала получена зависимость сигнала от времени.

На рисунке 2 приведена зависимость амплитуды I и Q отсчетов от времени.

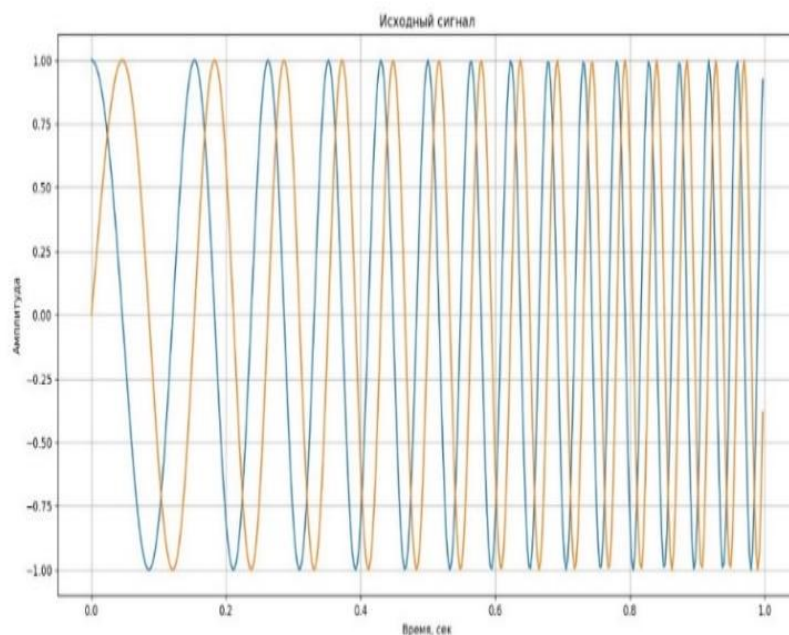


Рисунок 2 – Зависимость амплитуды I и Q отсчетов от времени

Спектр ЛЧМ сигнала формируется с помощью функции *FFT* из состава библиотеки NumPy. Данная функция осуществляет быстрое преобразование Фурье [1].

На рисунке 3 приведен спектр сформированного ЛЧМ сигнала.

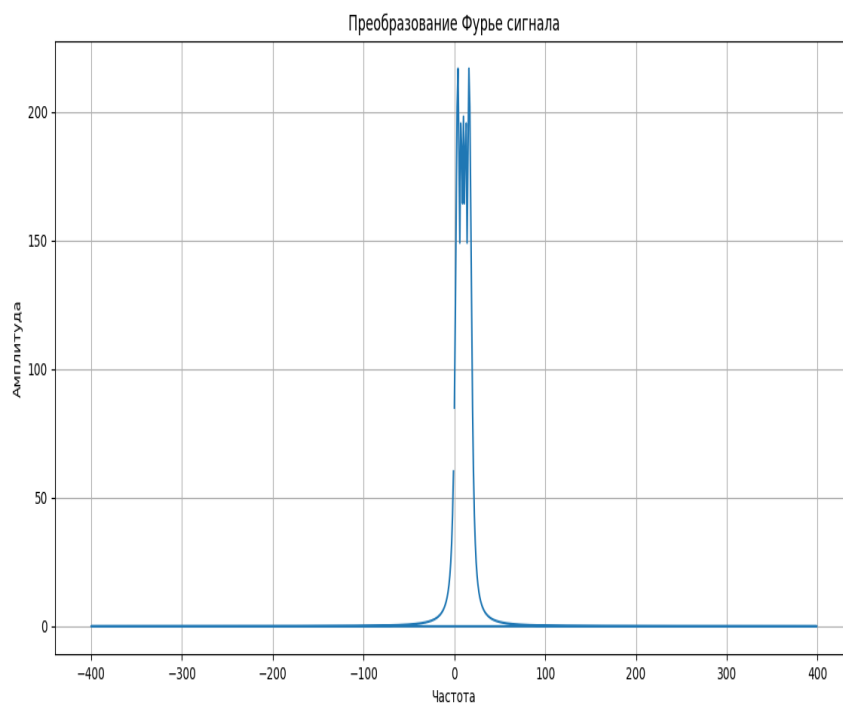


Рисунок 3 – Спектр сформированного ЛЧМ сигнала

Таким образом, в результате моделирования смоделирован сигнал с ЛЧМ. Спектр сигнала, полученный в результате автокорреляции сигнала ЛЧМ и задержанного сигнала приведен на рисунке 4.

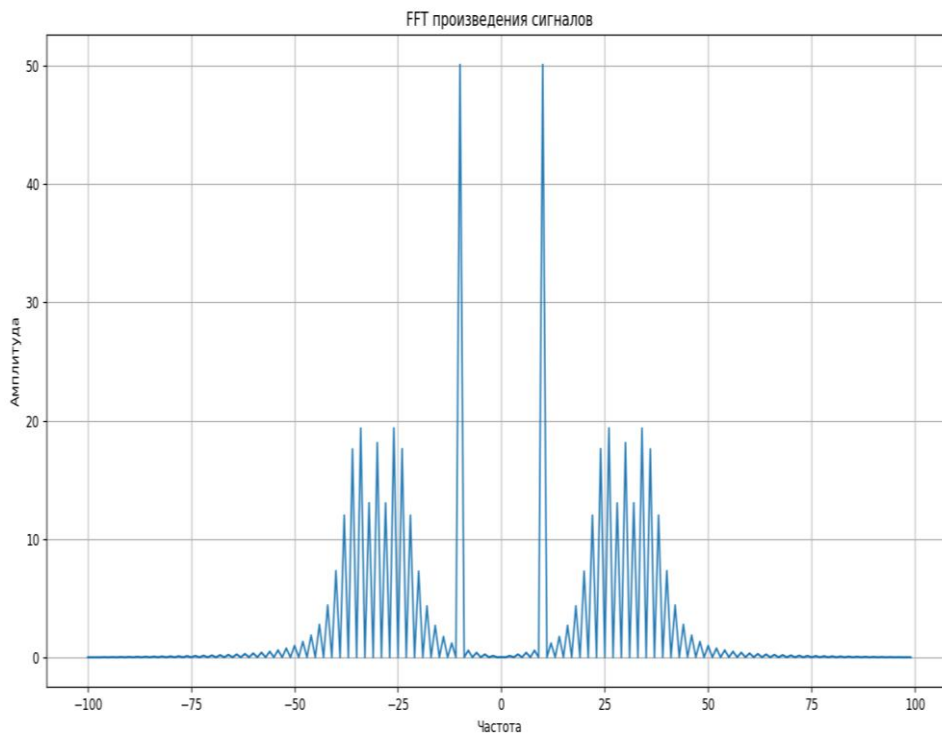


Рисунок 4 – Спектр сигнала в результате автокорреляции

Анализ рисунка 4 показывает, что пики автокорреляционной функции возникают на разностной частоте, т.е. той частоте, на которую смещен задержанный сигнал относительно исходного.

Приведенный пример показывает, что при использовании автокорреляционного метода удастся обнаружить ЛЧМ-сигнал. Проведенные расчеты позволяют установить параметры частоты задержанного сигнала. Автокорреляционный метод обеспечивает идентификацию характеристик сигнала анализируя изменения частоты и длительность импульсов.

К недостаткам данного метода можно относиться то, что точность результатов зависит от качества синхронизации исходного сигнала с его копией. Данный метод чувствителен к внешним помехам и интерференционным эффектам. А это требует дополнительной фильтрации и предварительной обработки данных.

Не смотря на эти недостатки автокорреляционный метод остается востребованным благодаря своей простоте. Результаты, полученные с помощью этого метода, обладают высокой информативностью.

Список литературы

1. Григорьев, Е. К. Основы радиолокации и ЛЧМ сигналов / Е. К. Григорьев. – М.: Радио и связь, 2009. – 320 с.
2. Канатчиков А.А. Сравнительный анализ методов обнаружения и определения параметров зондирующих сигналов РСА космического базирования. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.7.2>
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.: ил. – (Учебная литература для вузов)
4. Юдина, Н.Ю. Анализ факторов, оказывающих влияние на надежность структурных элементов сложных вычислительных систем / Н.Ю. Юдина, А.Н. Ковалев // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 86-93.

References

1. Grigor'ev E. K. Osnovy radarokatsii i lchm signalov [Fundamentals of radar and light light signals]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2009. - 320 p.
2. 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>
3. Sergienko A.B. Digital Signal Processing: Textbook. allowance. - 3rd ed. St. Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2011. - 768 p.: ill. — (Educational literature for universities)
4. Yudina N.Yu., Kovalev A.N. Analysis of factors influencing the reliability of structural elements of complex computing systems. – 2017. – Т. 10, No 3. – P. 86-93.

ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ СМЕЩЕНИЯ (BIAS) В БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЯХ (LLM)

А.М. Тюнина, В.В. Кондусова, Д.С. Кукуева, Сахаров С.Л.

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

Проблема смещений (bias) в больших языковых моделях (LLM), таких как GPT, является одной из наиболее актуальных в области искусственного интеллекта. Смещения, унаследованные от нерепрезентативных и несправедливых обучающих данных, могут приводить к дискриминационным и вредоносным результатам, усиливающим социальное неравенство. Цель данной статьи — систематизировать и исследовать источники смещений, методы их обнаружения и пути смягчения. В работе формализуется проблема смещения как задача многокритериальной оптимизации, а также предлагается методология математического моделирования для оценки эффективности различных методов снижения смещения. В рамках методологии рассматриваются такие подходы, как предварительная обработка данных, тонкая настройка и контролируемая генерация выходных данных (RLHF). Результаты моделирования демонстрируют, что комбинированное применение этих методов позволяет существенно снизить уровень смещения, однако не устраняет его полностью. Ключевой вывод заключается в необходимости комплексного, многоэтапного подхода к управлению смещениями на протяжении всего жизненного цикла LLM, а также в важности разработки более совершенных методов обнаружения и этических стандартов.

Ключевые слова: большие языковые модели, смещение (bias), этика ИИ, машинное обучение, RLHF, справедливость.

ETHICAL ASPECTS AND BIAS ISSUES IN LARGE LANGUAGE MODELS (LLM)

A.M. Tyunina, V.V. Kondusova, D.S. Kukueva, Sakharov S.L.

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

The problem of bias in large language models (LLM), such as GPT, is one of the most relevant in the field of artificial intelligence. Biases inherited from unrepresentative and unfair training data can lead to discriminatory and harmful results that increase social inequality. The purpose of this article is to systematize and investigate the sources of bias, methods for detecting it, and ways to mitigate it. The paper formalizes the problem of displacement as a multi-criteria optimization problem, and also suggests a mathematical modeling methodology for evaluating the effectiveness of various methods of reducing displacement. The methodology considers approaches such as data preprocessing, fine tuning, and controlled output generation (RLHF). The simulation results demonstrate that the combined use of these methods can significantly reduce the level of bias, but does not eliminate it completely. The key conclusion is the need for a comprehensive, multi-step approach to managing bias throughout the LLM lifecycle, as well as the importance of developing better detection methods and ethical standards.

Keywords: large language models, bias, AI ethics, machine learning, RLHF, justice.

Большие языковые модели (LLM) произвели революцию в обработке естественного языка, демонстрируя выдающиеся способности в генерации текста, переводе и решении задач. Однако их повсеместное внедрение в различные сферы жизни — от образования и юриспруденции до рекрутинга и обслуживания клиентов — выявило серьезные этические проблемы, центральной из которых является проблема смещения (bias).

Актуальность проблемы обусловлена тем, что смещения в LLM не являются просто техническими артефактами; они отражают и усиливают социальные, культурные и исторические предубеждения, присутствующие в данных, на которых модели обучаются. Это может проявляться в виде стереотипных ассоциаций (например, гендерных или расовых), дискриминации по возрасту, религии, национальности, а также в распространении недостоверной информации, которая распространяется без намерения обмануть. Исследования, такие как работа Bender et al. (2021) [1], указывают на риски создания моделей на основе "колоссальных корпусов текста без разбора", а Bommarit et al. (2022) [2] экспериментально демонстрируют наличие стойких стереотипов в современных LLM.

Обзор существующих исследований позволяет выделить три основных направления: 1) идентификация и классификация типов смещений (социальные, культурные, конфессиональные и т.д.); 2) разработка методов и бенчмарков для их количественной оценки (например, benchmarks BBQ, BiasBench, BOLD); 3) разработка методов смягчения последствий на разных этапах жизненного цикла модели.

Цель данной статьи — комплексное исследование феномена смещения в LLM: от источников его происхождения до методов борьбы с ним. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. проанализировать и систематизировать источники смещений в обучающих данных.
2. формально описать проблему смещения как объект моделирования.
3. разработать методологию математического моделирования для оценки эффективности методов смягчения смещений.
4. провести вычислительные эксперименты и проанализировать их результаты.

Объект моделирования: процесс генерации текста большой языковой моделью и его подверженность смещениям.

Формальное описание: пусть M — большая языковая модель, параметризованная вектором θ . Модель обучается на корпусе текстовых данных $D = \{d_1, d_2, \dots, d_N\}$, который является выборкой из реального распределения данных P_{data} . Распределение P_{data} содержит скрытые смещения B , относящиеся к защищенным атрибутам $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ (например, гендер, раса, национальность).

Задача модели — предсказать вероятность последовательности токенов $y = \{y_1, y_2, \dots, y_t\}$ дан контекст x : $P(y|x; \theta)$.

Входные параметры:

- D : обучающий корпус данных.
- B : множество смещений в данных.
- A : множество защищенных атрибутов.
- Q : набор запросов (prompts), предназначенных для тестирования смещений.
- Λ : множество методов смягчения смещений (например, штрафы в функции потерь, алгоритмы переназначения представлений).

Выходные параметры:

- S : вектор показателей смещения модели M по атрибутам A .
- $P_{fair}(y|x; \theta')$: скорректированное распределение выходных данных после применения методов смягчения.
- P_{perf} : показатель общей производительности модели (например, perplexity), который не должен существенно деградировать.

Ограничения:

1. Компромисс между справедливостью и производительностью: Снижение смещения часто приводит к падению общей производительности модели.

2. Многомерность смещения: Модель должна быть справедливой одновременно по множеству атрибутов A , что является сложной задачей оптимизации.

3. Латентность смещений: Полное описание и идентификация всех смещений B в данных невозможна.

Для анализа и количественной оценки эффективности методов смягчения смещений предлагается использовать подход математического моделирования, основанный на концепции многокритериальной оптимизации.[4]

Уровень смещения модели M относительно атрибута a_i можно оценить с помощью метрик. Рассмотрим метрику, основанную на разнице в вероятностях генерации определенных ассоциативных токенов для разных групп.

Пусть для атрибута a_i существует две группы: G_1 и G_2 . Для промпта x , нейтрального относительно этого атрибута, модель генерирует ответ y . Мы можем измерить склонность модели генерировать токены из множества стереотипных ассоциаций $T_{stereotype}$.

Показатель смещения для атрибута a_i определяется как:

$$Bias(M, a_i) = \left| \frac{1}{|T|} \sum_{t \in T} (P(t|x, G_1; \theta) - P(t|x, G_2; \theta)) \right| \quad (1)$$

где T — набор целевых стереотипных токенов. Чем ближе $Bias(M, a_i)$ к 0, тем справедливее модель.

Рассмотрим три основных метода смягчения:

1. Предварительная обработка данных (Data Preprocessing):

Модификация обучающего корпуса D для получения "очищенного" корпуса D' . Можно включить удаление или балансировку предложений с определенными ключевыми словами.

Формально: $D' = f_{filter}(D, A)$. Модель заново обучается на D' : $\theta' = \arg \min_{\theta} L(D'; \theta)$.

2. Доработка с штрафом за смещение:

Добавление в функцию потерь регуляризационного члена, который штрафует за проявление смещения.

Функция потерь принимает вид:

$$L_{total}(\theta) = L_{LM}(\theta) + \lambda * R_{bias}(\theta) \quad (2)$$

где $L_{LM}(\theta)$ — стандартная языковая модель (cross-entropy loss), $R_{bias}(\theta)$ — регуляризатор, оценивающий уровень смещения (например, рассчитанный по формуле выше), λ — гиперпараметр, контролирующий компромисс.

3. Контролируемая генерация (RLHF - Reinforcement Learning from Human Feedback):

Использование обучения с подкреплением для тонкой настройки модели в соответствии с человеческими предпочтениями, включая справедливость.

- Агент: Языковая модель.
- Среда: Пользователь, запрашивающий ответ на промпт.
- Действие: Генерация последовательности токенов уу.
- Награда r : Функция, объединяющая 1) соответствие ответа запросу и 2) его "справедливость", оцененную моделью-критиком (reward model), обученной на человеческих оценках.

Цель — максимизировать ожидаемую награду: $\theta^* = \arg \max_{\theta} E_{x,y \sim p_{\theta}}[r(x, y)]$.

Для упрощения моделирования предположим, что мы имеем дело с синтетическим языком и моделью, где смещение можно четко определить по одному защищенному атрибуту (например, "профессия" и ее гендерная ассоциация). Исходная модель M_0 обучена на смещенных данных, где токен "инженер" ассоциируется с местоимением "он" с вероятностью 90%, а "няня" — с "она" с вероятностью 95%.

Сценарии моделирования:

1. Базовый: Измерение смещения в исходной модели M_0 .
2. Предварительная обработка: Обучение модели M_1 на сбалансированных данных (ассоциации 50/50).
3. Доработка с регуляризацией: Тонкая настройка M_0 с $\lambda = 0.1, 0.5, 1.0$, получаем модели $M_{2.1}, M_{2.2}, M_{2.3}$.
4. RLHF: Применение RLHF к модели M_0 , получаем модель M_3 .

Для каждого сценария измеряются два ключевых показателя: 1) Уровень смещения $Bias(M, profession)$ и 2) Общая перплексия модели $Perf(M)$ (чем ниже, тем лучше).

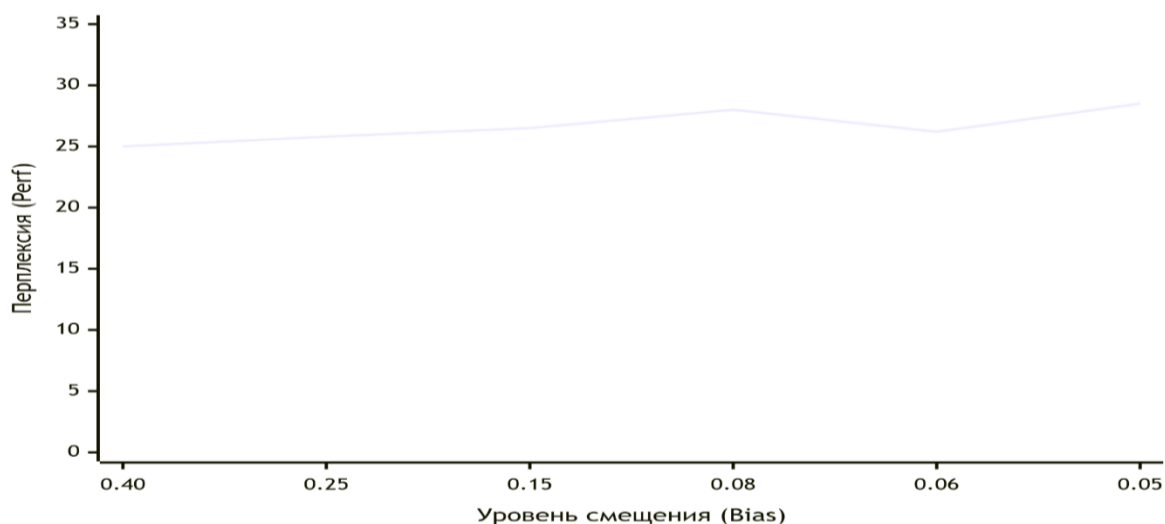


Рисунок 1 – Компромисс между снижением смещения и производительностью модели

Таблица 1– Результаты экспериментов по снижению смещения

Модель / Сценарий	Уровень смещения (Bias)	Перплексия (Perf)
M_0 (Базовая)	0.40	25.0
M_1 (Data Preproc)	0.05	28.5
$M_{2.1}$ ($\lambda = 0.1$)	0.25	25.8
$M_{2.2}$ ($\lambda = 0.5$)	0.15	26.5
$M_{2.3}$ ($\lambda = 1.0$)	0.08	28.0
M_3 (RLHF)	0.06	26.2

- Ось X (Уровень смещения): Чем ближе точка к нулю, тем ниже уровень смещения в модели (лучше).
- Ось Y (Перплексия): Чем ниже точка, тем лучше производительность модели (лучше).
- Идеальная модель находилась бы в нижнем левом углу (низкое смещение и низкая перплексия).

Ключевые наблюдения:

1. Pareto Frontier: Жирная линия соединяет модели, которые демонстрируют оптимальный компромисс - для данного уровня смещения нельзя добиться лучшей перплексии, и наоборот. Модели, находящиеся справа от этой линии (например, M_0), - неоптимальны.

2. Компромисс: График наглядно показывает, что снижение смещения (движение влево) почти всегда достигается ценой ухудшения перплексии (движение вверх).

3. Сравнение методов:

M_1 (Data Preprocessing) достигает минимального смещения, но ценой наибольшего падения производительности.

M_3 (RLHF) оказывается на Парето-фронте, демонстрируя лучший баланс — он близок к M_1 по снижению смещения, но сохраняет гораздо лучшую производительность.

о Fine-Tuning модели ($M_{2.x}$) показывают последовательное улучшение по мере увеличения параметра λ , но их эффективность ниже, чем у RLHF.

Полученные результаты четко демонстрируют существование компромисса (trade-off) между справедливостью и производительностью.

1. Эффективность методов: Все рассмотренные методы позволили снизить исходный уровень смещения. Наиболее радикальным оказался метод предварительной обработки данных (M_1), который снизил смещение до 0.05. Однако это привело к наибольшему падению производительности (перплексия выросла с 25.0 до 28.5). Это объясняется тем, что фильтрация данных может удалять не только смещения, но и полезные языковые паттерны.

2. Влияние гиперпараметра λ : В сценарии с Fine-Tuning видна прямая зависимость: увеличение силы регуляризатора λ приводит к более значительному снижению смещения, но и к большему росту перплексии. Это подтверждает, что мы "расплачиваемся" производительностью за справедливость.

3. Сбалансированность RLHF: Метод RLHF (M_3) показал себя как наиболее сбалансированный. Он достиг уровня смещения, близкого к методу предварительной обработки (0.06), но при этом сохранил лучшую производительность (перплексия 26.2). Это объясняется тем, что RLHF не переучивает модель с нуля и не искажает данные, а целенаправленно корректирует ее поведение на основе целевой функции (награды).

4. Чувствительность модели: Модель наиболее чувствительна к кардинальному изменению обучающих данных (Data Preprocessing). Методы постобработки (Fine-Tuning, RLHF) позволяют более гибко управлять компромиссом.

Сравнение с ожиданиями: Результаты соответствуют теоретическим предсказаниям и данным из современных исследований [2, 3]. Ни один метод не может полностью устранить смещение без каких-либо потерь, что подчеркивает сложность проблемы. [5]

В данной статье была проведена систематизация проблемы смещений в больших языковых моделях. Путем математического моделирования была продемонстрирована эффективность и ограничения трех основных методов смягчения смещений: предварительной обработки данных, тонкой настройки с регуляризацией и RLHF. Ключевым выводом является подтверждение гипотезы о компромиссе между справедливостью и производительностью модели.

Практическая значимость работы заключается в предоставлении структурированного подхода для разработчиков и исследователей ИИ к выбору методов борьбы со смещениями в зависимости от требуемого уровня справедливости и допустимого падения производительности. Наиболее перспективным направлением представляется использование комбинированных подходов, например, умеренная предварительная фильтрация данных с последующей тонкой настройкой с помощью RLHF. [6]

Перспективы дальнейших исследований включают:

1. Разработку более точных и многомерных метрик для оценки смещений.
2. Исследование методов, которые минимизируют компромисс "справедливость-производительность".
3. Создание прозрачных и стандартизированных бенчмарков для аудита моделей на предмет смещений.
4. Глубокое изучение этических рамок и нормативного регулирования в данной области.

Борьба со смещениями в LLM — это не разовая техническая задача, а непрерывный процесс, требующий междисциплинарного подхода на стыке компьютерных наук, социологии и этики.

Список литературы

1. Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big?
2. Bommasani, R., et al. (2022). On the Opportunities and Risks of Foundation Models.
3. Weidinger, L., et al. (2021). Ethical and social risks of harm from language models.
4. Циммерлинг, А. В. Модальные операторы в автоматических системах перевода и больших языковых моделях / А. В. Циммерлинг, А. М. Баяк // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии : Доклады

по материалам ежегодной международной конференции "Диалог" (2025), Москва, 23 апреля 2025 года. Том 23. – Москва, 2025. – С. 471-480. – EDN VHOYVM.

5. Мохаммад, Ж. Х. Извлечение ключевых фраз на основе больших языковых моделей / Ж. Х. Мохаммад // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 5(241). – С. 143-151. – DOI 10.18522/2311-3103-2024-5-143-151. – EDN SFYQUK.

6. Цзыюэ, В. Оптимизация и потенциал развития машинного перевода на примере больших языковых моделей типа ChatGPT / В. Цзыюэ // Актуальные вопросы переводоведения и регионоведения : сборник статей Международного форума, Нижний Новгород, 20–22 октября 2023 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный лингвистический университет им. Н.А. Добролюбова, 2024. – С. 67-75. – EDN VSPADK.

References

1. Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big?

2. Bommasani, R., et al. (2022). On the Opportunities and Risks of Foundation Models.

3. Weidinger, L., et al. (2021). Ethical and social risks of harm from language models.

4. Zimmerling, A.V. Modal operators in automatic translation systems and large language models / A.V. Zimmerling, A.M. Bayuk // Computational linguistics and intelligent technologies : Reports on the materials of the annual international conference "Dialog" (2025), Moscow, April 23, 2025. Volume 23. – Moscow, 2025. – pp. 471-480. – EDN VHOYVM.

5. Mohammad, J. H. Extraction of keywords based on large language models / J. H. Mohammad // SFU News. Technical sciences. – 2024. – № 5(241). – Pp. 143-151. – DOI 10.18522/2311-3103-2024-5-143-151. – EDN SFYQUK.

6. Ziyue, V. Optimization and development potential of machine translation using the example of large ChatGPT-type language models / V. Ziyue // Actual issues of translation and regional studies : collection of articles of the International Forum, Nizhny Novgorod, October 20-22, 2023. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Linguistic University named after N.A. Dobrolyubov, 2024. pp. 67-75. - EDN VSPADK.

ПРОТОКОЛЫ И АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ LPWAN-ТЕХНОЛОГИЙ

А.М. Тюнина, В.В. Кондусова, Д.С. Кукуева, Сахаров С.Л.

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

В статье проводится комплексный анализ протоколов и архитектур для обеспечения безопасного и энергоэффективного взаимодействия в сетях Интернета Вещей (IoT). Основное внимание уделяется сравнительному исследованию LPWAN-технологий, в частности протоколов LoRaWAN и NB-IoT. Детально рассматриваются их сетевые стеки, механизмы безопасности, включая системы шифрования AES-128 и методы аутентификации, рабочие диапазоны частот, а также типовые сценарии применения в различных отраслях. Представлен анализ архитектурных решений LoRaWAN, включая компоненты конечных устройств, шлюзов, сетевого сервера и сервера приложений. Проведено сравнение ключевых параметров LPWAN-технологий по дальности связи, скорости передачи данных, энергопотреблению и безопасности. Результаты исследования демонстрируют компромиссы между энергоэффективностью, стоимостью развертывания и уровнем безопасности в различных IoT-сценариях, что позволяет выбрать оптимальную технологию для конкретных применений.

Ключевые слова: LPWAN, LoRaWAN, NB-IoT, Интернет Вещей, IoT безопасность, энергопотребление, протоколы связи, OTA-обновления, сквозное шифрование, AES-128, LTE Cat-NB1, сетевые уязвимости, диапазоны частот, IoT архитектура.

PROTOCOLS AND ARCHITECTURES FOR SECURE INTERACTION IN THE INTERNET OF THINGS WITH LOW POWER CONSUMPTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF LPWAN TECHNOLOGIES

A.M. Tyunina, V.V. Kondusova, D.S. Kukueva, Sakharov S.L.

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

The article provides a comprehensive analysis of protocols and architectures to ensure secure and energy-efficient interaction in the Internet of Things (IoT) networks. The main focus is on the comparative study of LPWAN technologies, in particular the LoRaWAN and NB-IoT protocols. Their network stacks, security mechanisms, including AES-128 encryption systems and authentication methods, operating frequency ranges, as well as typical application scenarios in various industries are discussed in detail. The analysis of LoRaWAN architectural solutions, including components of end devices, gateways, network server and application server, is presented. The key parameters of LPWAN technologies in terms of communication range, data transfer rate, energy consumption and security are compared. The results of the study demonstrate the trade-offs between energy efficiency, cost of deployment, and level of security in various IoT scenarios, which allows choosing the optimal technology for specific applications.

Keywords: LPWAN, LoRaWAN, NB-IoT, Internet of Things, IoT security, power consumption, communication protocols, OTA updates, end-to-end encryption, AES-128, LTE Cat-NB1, network vulnerabilities, frequency ranges, IoT architecture.

Быстрое развитие Интернета Вещей (IoT) сопровождается серьезными вызовами в области безопасности и энергоэффективности. Уникальные характеристики IoT-устройств, включая ограниченные вычислительные ресурсы, длительную автономную работу от батарей и работу в неконтролируемых средах, создают принципиально новые угрозы безопасности. Традиционные подходы к защите информации оказываются неприменимыми в условиях ограниченных ресурсов IoT-устройств, что требует разработки специализированных протоколов и архитектур. Проблема усугубляется разнородностью IoT-экосистемы, включающей устройства с различными требованиями к дальности связи, скорости передачи данных и энергопотреблению. Особую сложность представляет обеспечение безопасности в LPWAN-сетях, где крайне ограниченные ресурсы устройств сочетаются с требованиями многолетней автономной работы. Существующие протоколы безопасности часто оказываются слишком ресурсоемкими для IoT-устройств, что приводит к компромиссам между уровнем защиты и продолжительностью работы. В связи с этим возникает необходимость в комплексном анализе современных LPWAN-технологий с точки зрения их способности обеспечивать баланс между энергоэффективностью, безопасностью и функциональностью в различных сценариях применения IoT.

Главным принципом IoT является автономное взаимодействие физических объектов без прямого участия человека для повышения эффективности процессов и создания новой ценности. Примером может служить автоматизация фермы: датчики влажности почвы автоматически активируют систему полива, метеодатчики предсказывают заморозки и включают обогрев, а платфор-

ма аналитики оптимизирует расход ресурсов без участия агронома. Этот принцип коренным образом отличает IoT от традиционных систем, где человек всегда выступает в роли оператора или контроллера процессов.

Экосистема Интернета Вещей предъявляет уникальные требования к сетевым технологиям: обеспечение многолетней автономной работы устройств от батарей при одновременной гарантии безопасности передаваемых данных. Технологии LPWAN (Low-Power Wide Area Network) предлагают сбалансированное решение, сочетающее дальность связи, энергоэффективность и безопасность.

Сеть LoRaWAN включает в себя следующие основные компоненты: конечные устройства, шлюзы, сетевой сервер и сервер приложений.

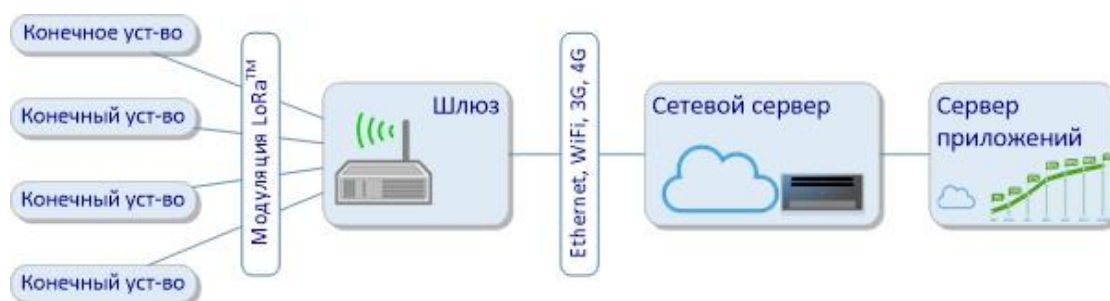


Рисунок 1 – Архитектура LoRaWAN

Конечное устройство представляет собой элемент сети, предназначенный для выполнения измерительных и/или управляющих функций. Оно оснащается необходимыми сенсорными и исполнительными модулями, обеспечивающими сбор данных и реализацию управляющих воздействий в соответствии с поставленными задачами.

Шлюз выполняет функцию промежуточного узла, осуществляющего приём данных от конечных устройств по радиоканалу и их последующую передачу в транзитную сеть. В качестве транзитной среды могут использоваться проводные (Ethernet) или беспроводные (Wi-Fi, сотовые сети) каналы связи. Конечные устройства и шлюз формируют топологию типа звезда (star-of-stars), при которой все конечные устройства взаимодействуют непосредственно со шлюзом. Шлюз, как правило, оснащён многоканальными приёмопередатчиками, что позволяет ему одновременно обрабатывать сигналы в нескольких радиоканалах или принимать несколько сигналов в одном канале. Совокупность шлюзов

формирует радиопокрытие сети и обеспечивает прозрачную двунаправленную передачу данных между конечными устройствами и сетевым сервером.

Сетевой сервер осуществляет централизованное управление сетью LoRaWAN. Его функции включают организацию расписания обмена данными, адаптацию скоростных параметров связи (ADR — Adaptive Data Rate), а также хранение, обработку и маршрутизацию поступающих сообщений.

Сервер приложений выполняет роль верхнего уровня архитектуры, обеспечивая взаимодействие с прикладными сервисами. Он осуществляет удалённый контроль и управление конечными устройствами, а также сбор, обработку и интерпретацию данных, поступающих из сети.

Архитектура сети LoRaWAN реализует иерархическую звездообразную топологию с четким разделением функциональных ролей. Конечные устройства взаимодействуют со шлюзами через радиоканалы, образуя периферийный сегмент сети. Шлюзы функционируют как прозрачные мосты, обеспечивая агрегацию трафика и его передачу на центральный сетевой сервер через транспортные сети. Сетевой сервер выполняет функции координации работы сети, управления подключениями и обработки данных. Модель владения инфраструктурой предполагает, что оператор сети управляет шлюзами и сетевым сервером, в то время как абоненты владеют конечными устройствами. Данная архитектура обеспечивает сквозную защищенную двунаправленную передачу данных между абонентскими устройствами и сетевыми сервисами. Криптографическая защита реализуется на уровне приложений с использованием алгоритмов симметричного шифрования.

Операторская модель обеспечивает централизованное управление сетевыми ресурсами, соблюдение регуляторных требований и снижение эксплуатационных затрат абонентов. При этом сохраняется полная прозрачность передачи данных для пользователей и гарантируется изоляция трафика различных абонентов.

Таблица 1 – Сравнение компонентов

Параметр	LoRaWAN	NB-IoT	Sigfox	LTE-M
Диапазоны частот	Нелицензируемые (868 МГц EU, 915 МГц US)	Лицензируемые (LTE bands)	Нелицензируемые (868 МГц EU)	Лицензируемые (LTE bands)

Даль- ность связи	10-15 км (го- род), до 40 км (сель- ская местность)	1-10 км	10-15 км (город), до 50 км (сельская мест- ность)	1-11 км
Ско- рость пе- редачи	0.3-50 кбит/с	50- 200 кбит/с	100 бит/с	1 Мбит/с
По- требление	Очень низкое (10+ лет)	Низкое (5-10 лет)	Крайне низкое (15+ лет)	Уме- ренное(2-5 лет)

Безопасность в IoT требует комплексного подхода, сочетающего корректный выбор протокола связи, реализацию надежных механизмов аутентификации и шифрования, а также разработку эффективных стратегий обновления устройств. Понимание компромиссов между энергоэффективностью, стоимостью и безопасностью позволяет создавать устойчивые IoT-системы, способные противостоять современным киберугрозам.

Перспективы развития безопасных и энергоэффективных решений для IoT связаны с созданием адаптивных систем безопасности, способных динамически регулировать уровень защиты в зависимости от контекста и доступных ресурсов. Особый потенциал демонстрируют подходы, основанные на постквантовой криптографии для защиты от будущих угроз и lightweight-алгоритмах шифрования, оптимизированных для устройств с ограниченными ресурсами. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизированных фреймворков безопасности для IoT, обеспечивающих интероперабельность между различными протоколами и платформами. Важным направлением является также создание эффективных механизмов OTA-обновлений, гарантирующих безопасное обновление прошивок даже в условиях нестабильного соединения. Учитывая растущее распространение IoT в критически важных инфраструктурах, особую актуальность приобретают исследования в области resilience-архитектур, способных сохранять работоспособность при частичных отказах и кибератаках. Развитие технологий машинного обучения на edge-устройствах открывает новые возможности для обнаружения аномалий и проактивного реагирования на угрозы непосредственно на уровне IoT-устройств, снижая зависимость от облачных сервисов и уменьшая задержки при принятии решений.

Список литературы

1. Кононенко, А. А. Сети связи "Интернета вещей" - старт стратегических проектов / А. А. Кононенко // Цифровая экономика. – 2020. – № 2(10). – С. 71-76. – DOI 10.34706/DE-2020-02-07. – EDN ENKBTA.
2. Павлова, И. Д. Алгоритм доступа к каналу с прослушиванием несущей для снижения задержки в сетях NB-Fi / И. Д. Павлова, Д. В. Банков // Информационные технологии и системы 2023 (ИТиС 2023) : Сборник трудов 47-й междисциплинарной школы-конференции ИППИ РАН, Огниково, 17–21 сентября 2023 года. – Москва: Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, 2023. – С. 287-295. – DOI 10.53921/itas2023_287. – EDN SLBHBF.
3. Барсков, А. Сети для IoT: LPWAN / А. Барсков // Журнал сетевых решений LAN. – 2016. – № 11. – С. 11-15. – EDN XWQAPX.
4. Нгуен, Д. К. Разработка метода взаимодействия узлов сети LPWAN на базе ячеистой топологии / Д. К. Нгуен, Р. В. Киричек // Интернет вещей и 5G, Санкт-Петербург, 07 декабря 2016 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2016. – С. 42-46. – EDN XGGXNJ.
5. LPWAN технологии, применяемые в мире интернета вещей / М. Г. Старичихин, Н. С. Графова, С. Д. Храпов, О. О. Латипов // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 12-4. – С. 76-78. – EDN XHQNTV.
6. Князев, Н. С. Сравнительный анализ стандартов беспроводных сетей LPWAN / Н. С. Князев, В. А. Чечеткин, Д. А. Летавин // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2017. – Т. 8, № 2. – С. 109-112. – EDN ZWBPOR.

References

1. Kononenko, A. A. Communication networks of the Internet of Things - the start of strategic projects / A. A. Kononenko // Digital Economy. – 2020. – № 2(10). – Pp. 71-76. – DOI 10.34706/DE-2020-02-07 . – EDN ENKBTA.
2. Pavlova, I. D. An algorithm for accessing a channel with listening to a carrier to reduce latency in NB-Fi networks / I. D. Pavlova, D. V. Bankov // Information Technologies and Systems 2023 (ITiS 2023) : Proceedings of the 47th Interdisciplinary School-conference of the IPPI RAS, Ognikovo, September 17-21, 2023. Moscow: A.A. Kharkevich Institute of Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, 2023. pp. 287-295. – DOI 10.53921/itas2023_287. – EDN SLBHBFB.
3. Barskov, A. Networks for IoT: LPWAN / A. Barskov // Journal of LAN network Solutions. – 2016. – No. 11. – pp. 11-15. – EDN XWQAPX.
4. Nguyen, D. K. Development of a method for the interaction of LPWAN network nodes based on mesh topology / D. K. Nguyen, R. V. Kirichek // Internet of Things and 5G, St. Petersburg, December 07, 2016. – St. Petersburg: St. Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M.A. Bonch-Bruевич, 2016. – pp. 42-46. – EDN XGGXHJ.
5. LPWAN technologies used in the world of the Internet of Things / M. G. Starichikhin, N. S. Grafova, S. D. Khrapov, O. O. Latipov // Modern trends in the development of science and technology. – 2016. – No. 12-4. – pp. 76-78. – EDN XHQNTV.
6. Knyazev, N. S. Comparative analysis of LPWAN wireless network standards / N. S. Knyazev, V. A. Chechetkin, D. A. Letavin // Signal synchronization, generation and processing systems. – 2017. – Vol. 8, No. 2. – pp. 109-112. – EDN ZWBPOR.

DOI: 10.58168/PPSPM2025_170-176

УДК 004.9

АРХИТЕКТУРНЫЕ ПАТТЕРНЫ ДЛЯ БЕССЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ

А.М. Тюнина, В.В. Кондусова, Д.С. Кукуева, Сахаров С.Л.
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»

В статье проводится комплексный анализ архитектурных паттернов для бессерверных (Serverless) приложений в контексте современных облачных платформ. Исследование охватывает три ключевых паттерна: Strangler Fig для постепенной миграции монолитных систем, Event-Driven для асинхронной обработки событий и Saga для управления распределенными транзакциями. Представлен детальный сравнительный анализ паттернов по критериям сложности реализации, типу взаимодействия, областям применения и потенциальным рискам. Особое внимание уделено практическим аспектам реализации бессерверной архитектуры, включая проблемы холодного старта, ограничения времени выполнения функций и вопросы мониторинга распределенных систем. На основе анализа современных FaaS-платформ (AWS Lambda, Azure Functions, Google Cloud Functions) сформулированы рекомендации по выбору оптимального архитектурного подхода в зависимости от бизнес-требований и характеристик нагрузки. Результаты исследования демонстрируют, что правильный выбор архитектурного паттерна позволяет существенно повысить масштабируемость, отказоустойчивость и экономическую эффективность облачных приложений.

Ключевые слова: бессерверная архитектура, FaaS, Serverless, облачные вычисления, архитектурные паттерны, Strangler Fig, Event-Driven, Saga, AWS Lambda, Azure Functions, микросервисы, холодный старт.

ARCHITECTURAL PATTERNS FOR SERVERLESS APPLICATIONS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES AND PRACTICAL ASPECTS OF IMPLEMENTATION

A.M. Tyunina, V.V. Kondusova, D.S. Kukueva, Sakharov S.L.

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

The article provides a comprehensive analysis of architectural patterns for serverless applications in the context of modern cloud platforms. The study covers three key patterns: Strangler Fig for gradual migration of monolithic systems, Event-Driven for asynchronous event

processing, and Saga for distributed transaction management. A detailed comparative analysis of the patterns is presented according to the criteria of complexity of implementation, type of interaction, areas of application and potential risks. Particular attention is paid to the practical aspects of implementing a serverless architecture, including cold start issues, function execution time constraints, and distributed system monitoring issues. Based on the analysis of modern FaaS platforms (AWS Lambda, Azure Functions, Google Cloud Functions), recommendations have been formulated for choosing the optimal architectural approach depending on business requirements and load characteristics. The results of the study demonstrate that choosing the right architectural pattern can significantly increase the scalability, fault tolerance, and cost-effectiveness of cloud applications.

Keywords: serverless architecture, FaaS, Serverless, cloud computing, architectural patterns, Strangler Fig, Event-Driven, Saga, AWS Lambda, Azure Functions, microservices, cold start.

Бессерверная архитектура стала одним из ключевых трендов в разработке облачных приложений, предлагая принципиально новый подход к управлению вычислительными ресурсами. Однако переход к Serverless-парадигме сопровождается значительными архитектурными вызовами, связанными с распределенным характером выполнения кода, ограничениями платформ и необходимостью переосмысления традиционных подходов к проектированию систем. Традиционные монолитные архитектуры и даже микросервисные подходы демонстрируют ограниченную эффективность в условиях FaaS-модели, где функции выполняются эфемерно и масштабируются независимо. Проблема усугубляется отсутствием унифицированных методик проектирования бессерверных систем и недостатком практического опыта у разработчиков. Особую сложность представляют задачи обеспечения согласованности данных в распределенных транзакциях, управления состоянием между вызовами функций и оптимизации производительности в условиях холодного старта. В связи с этим возникает необходимость в систематическом анализе архитектурных паттернов, специально адаптированных для бессерверной среды, и выработке критериев их выбора для различных классов приложений. Актуальность исследования обусловлена растущим распространением FaaS-платформ и потребностью в методических основах проектирования эффективных бессерверных систем.

Бессерверные технологии — один из ключевых трендов современной архитектуры приложений. Подход Serverless позволяет

разработчикам сосредоточиться на бизнес-логике, а вопросы масштабирования, инфраструктуры и эксплуатации отдать облачным платформам.

В основе этого подхода лежит модель FaaS (Function-as-a-Service), где каждая функция выполняется по запросу, не требуя выделенного сервера. Это подход, при котором разработчики фокусируются на логике, а управление инфраструктурой полностью берёт на себя облачный провайдер. В контексте

FaaS (Function-as-a-Service), таких как AWS Lambda, Azure Functions и Google Cloud Functions, особенно актуальны определённые архитектурные паттерны, облегчающие построение масштабируемых, адаптивных и отдельно разворачиваемых систем. [1]

Таблица 1 – Сравнение паттернов

Критерий	Strangler Fig	Event-driven	Saga
Главная цель	Миграция монолита	Асинхронные распределённые процессы	Распределённая согласованность
Тип взаимодействия	Синхронное API	Асинхронные события	Асинхронные/оркестрируемые шаги
Сложность	Средняя	Высокая	Высокая
Хорошо подходит для:	Legacy-to-serverless перехода	Потоков данных, IoT, очередей	Бизнес-процессов, транзакций
Риски	Дублирование функционала	Сложно отслеживать цепочки	Трудно писать компенсации

Strangler Fig — это паттерн постепенной замены частей монолитной системы без остановки всей платформы. Идея заключается в том, чтобы «обвить» существующее приложение новыми компонентами, перенаправлять к ним часть трафика и со временем полностью заменить устаревшие элементы. В мире FaaS данный паттерн используется для миграции логики монолита в отдельные функции. API Gateway или аналогичный маршрутизатор управляет тем, какие запросы обрабатываются старой системой, а какие — новой бессерверной логикой. Strangler Fig — отличный выбор, если ваша основная задача — постепенная миграция на Serverless, а не создание системы с нуля.

Событийно-ориентированный подход — наиболее органическая архитектура для бессерверного стека. Здесь функции запускаются в ответ на события: приход сообщения в очередь, изменение данных в хранилище, HTTP-запрос, таймер или IoT-сигнал. FaaS идеально масштабируется под непредсказуемые нагрузки, а событийно-ориентированная архитектура создаёт слабосвязанные компоненты. Каждая функция отвечает за свой маленький шаг — и вызывается лишь тогда, когда это необходимо. Saga — оптимальный выбор, когда Serverless должен поддерживать сложные транзакционные сценарии без потери согласованности.

Saga — это механизм управления распределёнными транзакциями, который разделяет одну большую транзакцию на последовательность локальных операций. Каждая операция выполняется в рамках одного сервиса или функции и является автономной. Если какой-то этап не удаётся выполнить успешно, запускаются компенсирующие действия, которые возвращают систему в согласованное состояние.

Вместо строгой последовательности ACID Saga гарантирует согласованность данных в течение определённого времени через корректно организованную реакцию на события.

Saga — один из ключевых паттернов, делающих распределённые бессерверные приложения надёжными и согласованными. Она позволяет компенсировать невозможность запуска ACID-транзакций в FaaS, разложив процесс на независимые шаги с чётко определённой логикой отката. В сочетании с событийной архитектурой и оркестраторами Saga формирует надёжный фундамент для сложных облачных систем: e-commerce, платежей, биллинга, логистики и всех областей, где важна целостность данных.

Несмотря на преимущества serverless-подхода, он приносит и ряд характерных проблем, которые необходимо учитывать при проектировании системы.

Холодный старт — задержка при первом вызове функции после периода бездействия. Он возникает из-за необходимости загрузить контейнер, зависимости и инициализировать окружение.

Большинство FaaS-платформ ограничивает продолжительность вызова функции — до нескольких минут. Это усложняет выполнение длительных задач, особенно связанных с обработкой больших данных. Архитектура бессерверных приложений — это не просто набор FaaS-функций, а комплексный подход, требующий глубокого понимания распределённых

систем. Паттерны Strangler Fig, Event-Driven и Saga представляют собой фундаментальные строительные блоки Serverless- архитектуры. При этом разработчикам нужно помнить о характерных сложностях бессерверных систем: холодных стартах, ограничениях времени выполнения и проблемах с мониторингом. Эти особенности требуют переосмысления привычных подходов и адаптации к требованиям облачного мира. [2]

В конечном счёте Serverless — это не только технологический тренд, но и новый взгляд на проектирование архитектур, где ценность создаётся небольшими и гибкими компонентами, а масштабирование и инфраструктура становятся заботой облака.

Перспективы развития архитектурных подходов для бессерверных приложений связаны с созданием гибридных моделей, сочетающих преимущества различных паттернов и адаптирующихся к изменяющимся требованиям бизнеса. Особый потенциал демонстрируют подходы, основанные на машинном обучении для прогнозирования нагрузки и оптимизации распределения функций между различными FaaS-провайдерами. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизированных интерфейсов для оркестрации сложных бизнес-процессов в бессерверной среде и создание эффективных механизмов управления состоянием распределенных транзакций. Важным направлением является также преодоление ограничений текущих FaaS-платформ, включая минимизацию задержек холодного старта и увеличение максимального времени выполнения функций для ресурсоемких задач. Учитывая растущую популярность edge-вычислений, особую актуальность приобретают исследования в области распределенных бессерверных архитектур, способных эффективно работать в условиях нестабильного сетевого соединения и ограниченных ресурсов периферийных устройств. Развитие стандартов и инструментов мониторинга бессерверных систем открывает новые возможности для создания самовосстанавливающихся архитектур, способных автоматически адаптироваться к сбоям и изменяющимся условиям работы.

Список литературы

1. Тхашоков, М. Х. Уязвимости бессерверных приложений и перспективы их применения / М. Х. Тхашоков // Управление в современных системах : сборник трудов IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников и аспирантов, Челябинск, 12 декабря 2019 года. – Челябинск: Южно-Уральский технологический университет, 2019. – С. 350-356. – EDN FXSZAK.
2. Актуальность бессерверных приложений и вычислений с помощью функций Azure / Д. С. Кириллов, Э. Ф. Насиров, Г. Р. Мертинс, Д. Д. Молостов // СОВРЕМЕННАЯ НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ и ИННОВАЦИИ : сборник статей XXIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 10 января 2022 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. – С. 53-55. – EDN RXEONF.
3. Мархакшинов, А. Л. Разработка бессерверных мобильных приложений / А. Л. Мархакшинов // Информационные системы и технологии в образовании, науке и бизнесе : Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Улан-Удэ, 05 июля 2019 года / Научный редактор Е.Р. Урмакшинова. – Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 2019. – С. 88-91. – DOI 10.18101/978-5-9793-1397-9-88-91. – EDN CLNLFL.
4. Нажимова, Н. А. Исследование методологии devops для разработки программного обеспечения / Н. А. Нажимова, А. А. Вдовин // Научное обозрение. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 44-49. – DOI 10.17513/srts.1433. – EDN GUEMHO.
5. Гордина, А. Т. Проектирование приложений Serverless-архитектуры / А. Т. Гордина, А. В. Забродин, А. Д. Хомоненко // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2022. – № 2. – С. 140-148. – DOI 10.18137/RNU.V9187.22.02.P.140. – EDN NTOTJS.

References

1. Tkhashokov, M. H. Vulnerabilities of serverless applications and prospects for their application / M. H. Tkhashokov // Management in modern systems : proceedings of the IX All-Russian (national) Scientific and Practical Conference of scientific, scientific and pedagogical workers and graduate students, Chelyabinsk, December 12, 2019. Chelyabinsk: South Ural Technological University, 2019. pp. 350-356. EDN FXSZAK.

2. The relevance of serverless applications and computing using Azure functions / D. S. Kirillov, E. F. Nasirov, G. R. Mertins, D. D. Molostov // MODERN SCIENCE: CURRENT ISSUES, ACHIEVEMENTS and INNOVATIONS : collection of articles of the XXIII International Scientific and Practical Conference, Penza, January 10, 2022. Penza: Science and Education (IP Gulyaev G.Yu.), 2022. pp. 53-55. - EDN RXEOHF.

3. Markhakshinov, A. L. Development of serverless mobile applications / A. L. Markhakshinov // Information systems and technologies in education, science and business : Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, Ulan-Ude, July 05, 2019 / Scientific editor E.R. Urmakshinova. – Ulan-Ude: Dorzhi Banzarov Buryat State University, 2019. – pp. 88-91. – DOI 10.18101/978-5-9793-1397-9-88-91. – EDN CLNLFL.

4. Najdova, N. A. A study of devops methodology for software development / N. A. Najdova, A. A. Vdovin // Scientific Review. Technical sciences. - 2023. – No. 2. – pp. 44-49. – DOI 10.17513/srts.1433. – EDN GUEMHO.

5. Gordina, A. T. Designing Serverless architecture applications / A. T. Gordina, A.V. Zabrodin, A.D. Khomonenko // Bulletin of the Russian New University. Series: Complex systems: models, analysis and management. – 2022. – No. 2. – pp. 140-148. – DOI 10.18137/RNU.V9187.22.02.P.140. – EDN NTOTJS.

ПРОТИВОБОРСТВУЮЩИЕ АТАКИ НА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

А.М. Тюнина¹, В.В. Кондусова¹, Д.С. Кукуева¹, В.В. Гончаров²

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

²Военная академия Ракетных войск стратегического
назначения имени Петра Великого

Современные системы компьютерного зрения на основе глубоких нейронных сетей демонстрируют высочайшую точность в задачах классификации и распознавания объектов. Однако они оказались уязвимы к специально сконструированным возмущениям — adversarial-атакам, которые остаются незаметными для человеческого восприятия, но способны кардинально изменить предсказание модели. Данное исследование посвящено систематическому анализу угроз безопасности нейросетевых моделей компьютерного зрения. В работе представлена классификация атак по уровню доступной информации о модели, детально рассмотрены механизмы создания adversarial-примеров с использованием градиентных методов, а также проанализированы современные подходы к защите, включая adversarial training и детекцию аномальных входных данных. Особое внимание уделено практическим аспектам: приведены результаты тестирования устойчивости популярных архитектур и количественные показатели эффективности различных методов защиты. Исследование подтверждает, что проблема adversarial-атак остается критически важной для развертывания надежных систем компьютерного зрения в реальных условиях.

Ключевые слова: противоборствующие атаки, adversarial examples, компьютерное зрение, безопасность ИИ, устойчивость моделей, градиентные методы, adversarial training, белый ящик, черный ящик.

COUNTERATTACKS ON COMPUTER VISION SYSTEMS AND PROTECTION AGAINST THEM

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

²Voyennaya akademiya Raketnykh voysk strategicheskogo
naznacheniya imeni Petra Velikogo

Modern computer vision systems based on deep neural networks demonstrate the highest accuracy in object classification and recognition tasks. However, they turned out to be vulnerable to specially designed perturbations — adversarial attacks, which remain invisible to human perception, but can dramatically change the prediction of the model. This study is devoted to the systematic analysis of threats to the security of neural network models of computer vision. The paper presents a classification of attacks according to the level of available information about the model, discusses in detail the mechanisms for creating adversarial examples using gradient methods, and analyzes modern approaches to protection, including adversarial training and detection of abnormal input data. Special attention is paid to practical aspects: the results of testing the stability of popular architectures and quantitative indicators of the effectiveness of various protection methods are presented. The study confirms that the problem of adversarial attacks remains critically important for the deployment of reliable computer vision systems in real conditions.

Keywords: adversarial attacks, adversarial examples, computer vision, AI security, model stability, gradient methods, adversarial training, white box, black box.

Глубокие нейронные сети произвели революцию в области компьютерного зрения, достигнув или превзойдя человеческие способности в таких задачах, как классификация изображений и распознавание объектов. Однако в 2014 году исследовательская группа под руководством Яна Гудфеллоу обнаружила фундаментальную уязвимость этих систем — возможность целенаправленного манипулирования их предсказаниями с помощью минимальных, визуально незаметных возмущений входных данных. Эти так называемые adversarial-атаки представляют серьезную угрозу для практического применения систем компьютерного зрения в критически важных областях: беспилотных автомобилях, где они могут привести к неправильной идентификации дорожных знаков.

Актуальность проблемы определяется растущей сложностью атак и их адаптацией к реальным условиям. Если первоначальные исследования фокусировались на цифровой области, то современные работы демонстрируют возможность физических атак с помощью специально размещенных стикеров или текстур.

Целью данной работы является комплексный анализ landscape adversarial-атак на системы компьютерного зрения и методов защиты от них. В задачи исследования входит классификация типов атак по различным критериям, описание механизмов создания adversarial-примеров с математическим обоснованием, а также оценка эффективности современных методов повышения устойчивости моделей на основе экспериментальных данных.

Adversarial-атаки могут быть систематизированы по нескольким ключевым параметрам, определяющим их практическую реализуемость и опасность.

По уровню доступной информации о целевой модели различают атаки типа "белый ящик", при которых злоумышленник имеет полный доступ к архитектуре и параметрам модели, и атаки "черного ящика", когда известны только входы и выходы системы. Атаки белого ящика, такие как FGSM и PGD, используют градиентную информацию для эффективного построения возмущений, в то время как чернаящичные атаки часто основаны на transferability — свойстве adversarial-примеров, созданных для одной модели, быть эффективными против других моделей, обученных на аналогичных данных.

По цели воздействия выделяют целевые атаки, направленные на изменение предсказания на определенный целевой класс, и нетелевые, целью которых является простое нарушение работы классификатора. Целевые атаки считаются более опасными, так как позволяют злоумышленнику полностью контролировать поведение системы.

Рассмотрим Методы создания adversarial-примеров. Fast Gradient Sign Method (FGSM) представляет собой одну из самых простых и быстрых атак белого ящика. Основная идея заключается в однократном вычислении градиента функции потерь по входному изображению и добавлении небольшого возмущения в направлении знака этого градиента:

$$x_{adv} = x + \varepsilon * \text{sign}(\nabla_x * J(\theta, x, y))_{(1)}$$

где x — исходное изображение, y — истинный класс, θ — параметры модели, J — функция потерь, ε — параметр, ограничивающий норму возмущения.

Пример расчета FGSM-атаки:

Рассмотрим изображение кошки размером 224×224 пикселя.



Рисунок 1 – изображение кошки

Пусть модель предсказывает класс "кошка" с вероятностью 0.95.

После вычисления градиента получаем тензор возмущений с максимальным значением 0.02. При $\varepsilon = 0,03$ создаем adversarial-пример.

Визуально изменения незаметны (среднее изменение пикселя $\approx 0.5\%$), но модель теперь классифицирует изображение как "собака" с вероятностью 0.89.

Projected Gradient Descent (PGD) является итеративным развитием FGSM и считается одним из самых мощных методов атаки.

На каждом шаге вычисляется градиент и обновляется adversarial-пример с последующей проекцией на ε -окрестность исходного изображения:

$$x_{adv\{t+1\}} = Proj_{\varepsilon} \left(x_{adv^t} + a * sign(\nabla_x * J(\theta, x_{adv^t}, y)) \right)_{(2)}$$

где a — размер шага, $Proj_{\varepsilon}$ — оператор проекции на L_{∞} — шар радиуса ε вокруг x .

Рассмотрим методы защиты от adversarial-атак. Adversarial training считается одним из наиболее эффективных подходов к повышению устойчивости моделей.

Вместо минимизации ожидаемых потерь на исходных данных, модель обучается на смеси исходных и adversarial-примеров:

$$\min_{\theta} E_{(x,y) \sim D}[\max_{\delta \in \Delta} J(\theta, x + \delta, y)] \quad (3)$$

где Δ — пространство допустимых возмущений.

Практическая реализация adversarial training часто использует PGD-атаки для генерации adversarial-примеров во время обучения. Исследования показывают, что модели, обученные с использованием PGD-атаки с $\epsilon = \frac{8}{255}$, демонстрируют устойчивость до 50% против атак аналогичной мощности, при этом сохраняя точность на чистых данных выше 85%.

Таблица 1 – Сравнение методов атаки

Метод	Тип атаки	Итеративный	Эффективность	Вычислительная сложность
FG SM	Белый ящик	Нет	Средняя	Низкая
PGD	Белый ящик	Да	Высокая	Средняя
Carlini & Wagner	Белый ящик	Да	Очень высокая	Высокая
Boundary Attack	Черный ящик	Да	Средняя	Высокая
Square Attack	Черный ящик	Да	Высокая	Средняя

Сравнение точности моделей на чистых и adversarial-данных

- Базовая модель: 95% на чистых данных, 15% на adversarial-данных
- Модель с adversarial training: 87% на чистых данных, 52% на adversarial-данных
- По оси X: мощность атаки (ϵ), по оси Y: точность классификации]

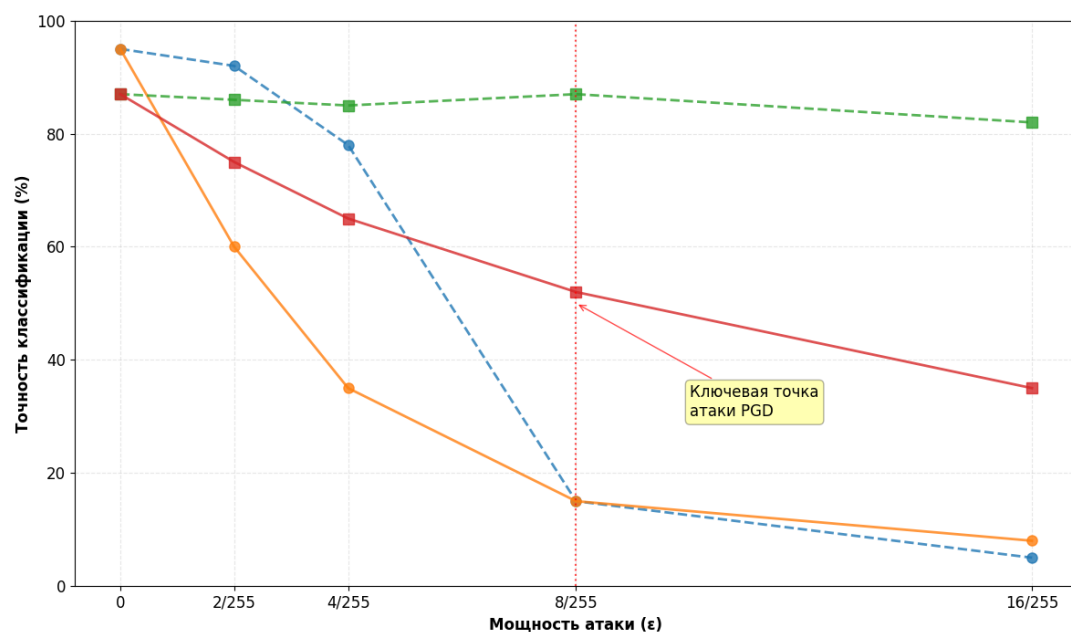


Рисунок 2 – Сравнение устойчивости моделей к adversarial-атакам

Обнаружение adversarial-примеров представляет собой альтернативный подход, основанный на идентификации аномальных входных данных. Методы обнаружения используют различные статистические свойства adversarial-примеров, такие как распределение значений активаций в скрытых слоях или анализ распределения предсказаний при добавлении случайного шума.

Экспериментальные результаты и анализ

Таблица2 – Сравнение устойчивости различных архитектур

Архи- тектура	Точ- ность на чис- тых данных	Точ- ность после FGSM	Точ- ность после PGD	Точность после adversarial training + PGD
ResNet-50	94.8%	32.1%	12.3%	48.7%
VGG-16	93.5%	28.7%	9.8%	45.2%
Dense Net-121	95.1%	35.3%	14.1%	51.3%

Для количественной оценки эффективности методов защиты было проведено тестирование различных архитектур на наборе данных CIFAR-10. ResNet-50 демонстрировала точность 94.8% на чистых данных, которая падала до 12.3% при PGD-атаке с $\epsilon = 8/255$.

После adversarial training с использованием 7 шагов PGD та же архитектура показала точность 86.1% на чистых данных и 48.7% на adversarial-примерах.

Анализ transferability атак показал, что adversarial-примеры, созданные для одной архитектуры, эффективны против других в 40-60% случаев, что подчеркивает универсальность угрозы.

При этом комбинированная защита, включающая как adversarial training, так и детекцию аномалий, демонстрирует наилучшие результаты, снижая успешность атак до 15-20%.

Проблема adversarial-атак остается одним из ключевых вызовов для безопасного развертывания систем компьютерного зрения. Проведенное исследование демонстрирует, что современные методы атаки способны надежно обманывать даже самые совершенные модели, а существующие подходы к защите обеспечивают лишь частичную устойчивость ценой снижения точности на чистых данных.

Наиболее перспективными направлениями дальнейших исследований представляются разработка адаптивных методов защиты, способных противостоять неизвестным типам атак, создание формально верифицируемых гарантий устойчивости, а также интеграция механизмов безопасности непосредственно в процесс проектирования архитектур нейронных сетей.

Критически важным является также создание стандартизированных бенчмарков для оценки устойчивости моделей в различных сценариях атак.

Список литературы

1. Тумоян, Е. П. Разработка метода моделирования сетевых атак на основе нейронных сетей и вероятностных графов / Е. П. Тумоян // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 1(90). – С. 148-153. – EDN MBXFKD.
2. Дойникова, Е. В. Методика выбора защитных мер для реагирования на инциденты безопасности в компьютерных сетях на основе показателей защищенности / Е. В. Дойникова, И. В. Котенко // Информационные технологии в управлении (ИТУ-2016) : Материалы 9-й конференции по проблемам управления, Санкт-Петербург, 04–06 октября 2016 года / Председатель президиума мультikonференции В. Г. Пешехонов. – Санкт-Петербург: Концерн "Централь-

ный научно-исследовательский институт "Электроприбор", 2016. – С. 700-705. – EDN XFCHWP.

3. Шабуров, А. С. Модель обнаружения компьютерных атак на объекты критической информационной инфраструктуры / А. С. Шабуров, А. С. Никитин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 29. – С. 104-117. – EDN ZBKJTN.

References

1. Tumoyan, E. P. Development of a method for modeling network attacks based on neural networks and probabilistic graphs / E. P. Tumoyan // Izvestiya SFU. Technical sciences. – 2009. – № 1(90). – Pp. 148-153. – EDN MBXFKD.

2. Doynikova, E. V. Methodology for selecting protective measures to respond to security incidents in computer networks based on security indicators / E. V. Doynikova, I. V. Kotenko // Information Technologies in management (ITU-2016) : Proceedings of the 9th Conference on Management Problems, St. Petersburg, 04-06 October 2016 year / Chairman of the Presidium of the multi-conference V. G. Peshekhonov. Saint Petersburg: Concern Central Research Institute Electropribor, 2016. pp. 700-705. EDN XFCHWP.

3. Shaburov, A. S. A model for detecting computer attacks on critical information infrastructure objects / A. S. Shaburov, A. S. Nikitin // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Electrical engineering, information technology, control systems. – 2019. – No. 29. – pp. 104-117. – EDN ZBKJTN.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ EXPLAINABLE AI (XAI) ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕШЕНИЙ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.М. Тюнина¹, В.В. Кондусова¹, Д.С. Кукуева¹, П.П. Амелин²

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

²Ярославское высшее военное училище ПВО имени маршала Советского
Союза Говорова Л.А.

Современные глубокие нейронные сети демонстрируют выдающиеся результаты в различных областях, от компьютерного зрения до обработки естественного языка. Однако их сложная внутренняя структура часто делает процесс принятия решений непрозрачным, что порождает проблему «черного ящика». Это является серьезным препятствием для внедрения таких систем в критически важные области, такие как медицина, автономное вождение и юриспруденция, где требуется не только высокая точность, но и понимание логики принятия решений, доверие и возможность аудита. В ответ на этот вызов активно развивается направление Explainable AI (XAI), целью которого является создание методов интерпретации и объяснения решений искусственного интеллекта. В данной статье представлен обзор и сравнительный анализ ключевых методов XAI, включая LIME, SHAP и Grad-CAM. Рассматриваются их теоретические основы, области применения и практическая значимость для обеспечения надежности и безопасности интеллектуальных систем.

Ключевые слова: Explainable AI, интерпретируемость, глубокое обучение, черный ящик, LIME, SHAP, Grad-CAM, компьютерное зрение, доверие к ИИ.

APPLICATION OF EXPLICABLE AI (XAI) METHODS FOR INTERPRETING THE SOLUTIONS OF DEEP NEURAL NETWORKS

A.M. Tyunina¹, V.V. Kondusova¹, D.S. Kukueva¹, P.P. Amelin²

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

²Yaroslavskoye vyssheye voyennoye uchilishche PVO imeni marshala
Sovetskogo Soyuza Govorova L.A.

Modern deep neural networks demonstrate outstanding results in various fields, from computer vision to natural language processing. However, their complex internal structure often makes the decision-making process opaque, which creates a "black box" problem. This is a major obstacle to the implementation of such systems in critical areas such as medicine, autonomous driving, and law, which require not only high accuracy, but also an understanding of decision-making logic, trust, and the ability to audit. In response to this challenge, Explicable AI (XAI) is actively developing, which aims to create methods for interpreting and explaining artificial intelligence solutions. This article provides an overview and comparative analysis of key XAI methods, including LIME, SHAP, and Grad-CAM. Their theoretical foundations, fields of application and practical significance for ensuring the reliability and security of intelligent systems are considered.

Keywords: Explicable AI, interpretability, deep learning, black box, LIME, SHAP, Grad-CAM, computer vision, trust in AI.

Стремительное проникновение технологий искусственного интеллекта в повседневную жизнь и критически важные сферы деятельности сопровождается растущим запросом на прозрачность и подотчетность алгоритмов. Глубокие нейронные сети, являясь основным двигателем современного прогресса в ИИ, за счет своей многослойной и нелинейной природы скрывают логику своей работы. Врач не может поставить диагноз, основываясь лишь на непонятном выводе модели; инженер беспилотного автомобиля должен понимать, на что именно система обратила внимание при принятии решения об остановке; заемщик в банке имеет право знать причины отказа в кредите. Таким образом, проблема интерпретируемости перестала быть сугубо академической и превратилась в практическую необходимость, обусловленную этическими, правовыми и социальными требованиями.

Область Explainable AI сформировалась как междисциплинарная научная область, находящаяся на стыке машинного обучения, когнитивной науки и визуализации данных. Среди множества подходов можно выделить три наиболее влиятельных и широко применяемых метода: LIME, SHAP и Grad-CAM. Каждый из них предлагает уникальный способ заглянуть внутрь «черного ящика», отвечая на вопрос «Почему модель приняла именно такое решение?». Цель данной статьи заключается в систематическом обзоре этих методов, описании их принципов работы, сравнительном анализе их сильных и слабых сторон, а также в обсуждении их решающей роли в таких чувствительных к ошибкам областях, как медицина и автономное вождение.

Задача интерпретации модели может быть формализована как поиск для конкретного предсказания функции объяснения, которая является челове-

ко-понятной. Пусть у нас есть модель-классификатор, которая для входного изображения выдает вероятность принадлежности к определенному классу. При этом сама модель представляет собой сложную функцию, mapping входные данные к выходному предсказанию. Проблема заключается в том, что эта функция слишком сложна для непосредственного анализа человеком.

Основные вызовы, связанные с интерпретируемостью, включают в себя установление доверия к системе, обнаружение смещений в данных, обеспечение соблюдения нормативных требований и, что наиболее важно, отладку и улучшение самих моделей. Без понимания того, на каких именно признаках основывается предсказание, невозможно надежно оценить, будет ли модель работать в новых, слегка отличающихся условиях, или же она научилась использовать ложные корреляции, присутствующие в обучающей выборке. Например, модель, предназначенная для диагностики пневмонии по рентгеновским снимкам, может научиться распознавать не медицинские признаки, а метки на снимках, специфичные для определенной больницы, в данных которой она обучалась.

LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) предлагает интуитивно понятный подход к объяснению индивидуальных предсказаний. Его ключевая идея заключается в том, что, хотя глобальное поведение сложной модели может быть нелинейным и запутанным, его можно аппроксимировать простой, интерпретируемой моделью в окрестности конкретного рассматриваемого примера. LIME генерирует новые, слегка perturbed версии исходного входного данных, например, зашумленные сегменты изображения, и наблюдает, как меняются предсказания черного ящика для этих новых примеров. Затем он обучает простую модель, такую как линейная регрессия с L1-регуляризацией, чтобы предсказать выход черного ящика на основе этих искусственно созданных samples. Веса этой локальной линейной модели и являются объяснением, показывающим, какие части входных данных наиболее сильно повлияли на исходное предсказание. Важным достоинством LIME является его модель-агностичность, что позволяет применять его к любым алгоритмам, от случайного леса до глубоких нейросетей.

SHAP (SHapley Additive exPlanations) основывается на строгой математической теории из области кооперативных игр. В этой теории ценность каждого игрока в коалиции определяется его средним предельным вкладом во все возможные коалиции. SHAP адаптирует эту концепцию для машинного обучения, рассматривая признаки как «игроков», а предсказание модели — как «выиг-

рыш» коалиции. Значение SHAP для конкретного признака вычисляется как его средний вклад в предсказание по всем возможным подмножествам остальных признаков. Это обеспечивает теоретически обоснованное и согласованное распределение важности признаков для каждого отдельного предсказания. Хотя точное вычисление значений SHAP является вычислительно сложной задачей, существуют эффективные аппроксимации, такие как KernelSHAP и TreeSHAP, что делает метод применимым на практике. SHAP предоставляет не только локальные объяснения для отдельных экземпляров, но и позволяет агрегировать их для получения глобального взгляда на поведение модели.

Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) был разработан специально для сверточных нейронных сетей, используемых в компьютерном зрении. В отличие от модельно-агностичных методов, Grad-CAM использует внутренние механизмы работы CNN для генерации визуальных объяснений. Его принцип действия основан на анализе градиентов целевого класса, проходящих через последний сверточный слой сети. Эти градиенты используются для взвешивания карт активации этого слоя, которые, по сути, представляют собой абстрактные признаки, извлеченные сетью. Путем взвешенной комбинации этих карт активации Grad-CAM строит грубую тепловую карту, которая накладывается на исходное изображение. Области, выделенные теплыми цветами, показывают те части изображения, которые были наиболее важны для предсказания моделью данного конкретного класса. Например, для задачи классификации пород собак Grad-CAM может визуализировать, что модель сфокусировалась на морде и ушах животного, чтобы принять решение, что повышает доверие к ее корректной работе.

Для демонстрации практической ценности методов ХАИ рассмотрим их применение в задаче классификации заболеваний по рентгеновским снимкам. Модель глубокого обучения обучается определять наличие пневмонии по грудным снимкам. После достижения высокой точности на тестовой выборке возникает закономерный вопрос: на основе каких признаков модель принимает решение?

Применение Grad-CAM к такому классификатору позволяет получить визуальную карту важности областей. В идеальном случае тепловая карта должна выделять именно легочные поля с инфильтратами, соответствующими пневмонии. Однако на практике может выясниться, что модель научилась использовать артефакты — например, метки на снимках или особенности конкретного

рентгеновского аппарата, что свидетельствует о смещении в данных и ненадежности модели.

Применение LIME к тому же снимку дает иной тип объяснения. Метод может выделить отдельные суперпиксели (сегменты изображения), которые сильнее всего повлияли на предсказание. В отличие от плавной тепловой карты Grad-CAM, объяснение LIME имеет более дискретный характер, но при этом его проще формально проверить, последовательно маскируя эти области и наблюдая за изменением вероятности предсказания.

Расчет вклада признаков с помощью SHAP позволяет количественно оценить важность различных областей. Для пикселя или сегмента изображения вычисляется значение SHAP, показывающее, насколько изменилась бы вероятность предсказания «пневмония», если бы значение этого пикселя было усредненным. Это предоставляет строгую математическую основу для анализа, свободную от эвристик.

Таблица 1 – Сравнительная таблица методов ХАИ

Критерий	LIME	SHAP	Grad-CAM
Область объяснения	Локальная	Локальная и глобальная	Локальная
Применимость	Модельно-агностичный	Модельно-агностичный	Только для CNN
Вид объяснения	Важность сегментов	Точечные значения вклада	Тепловая карта
Вычислительная сложность	Средняя	Высокая	Низкая
Теоретическая база	Локальная аппроксимация	Теория Шепли	Градиенты и активации

В медицинской диагностике комбинация методов ХАИ становится стандартом де-факто. Grad-CAM позволяет врачу быстро оценить, на какие анатомические области смотрел алгоритм, в то время как SHAP предоставляет количественную меру уверенности модели в своих выводах. Это не только повышает доверие клиницистов, но и служит инструментом контроля качества — систематический анализ объяснений помогает выявлять случаи, когда модель основывает диагноз на некорректных признаках.

В системах автономного вождения объяснимость является критически важным компонентом безопасности. Методы ХАИ позволяют инженерам понять, почему система приняла то или иное решение в сложной дорожной ситуации. В финансовой и правовой сферах требования регулирующих органов делают интерпретируемость обязательной. Такие методы, как LIME и SHAP,

позволяют предоставить клиенту понятное объяснение отказа в кредите или страховой выплате, выделив конкретные факторы, повлиявшие на решение — кредитную историю, уровень дохода или другие параметры.

Несмотря на впечатляющие успехи, современные методы ХАИ имеют ограничения. Локальные объяснения не всегда дают полную картину работы модели, а визуализации могут быть подвержены субъективной интерпретации. Кроме того, существует риск создания «объяснений-софизмов» — когда метод генерирует правдоподобное, но неверное объяснение решения «черного ящика».

Методы объяснимого искусственного интеллекта перестали быть просто академическим интересом и превратились в необходимый компонент промышленных систем машинного обучения. LIME, SHAP и Grad-CAM, каждый со своими особенностями и областью применения, составляют основу современного инструментария для интерпретации решений глубоких нейронных сетей.

Важнейшим выводом является то, что объяснимость следует рассматривать не как опциональную надстройку, а как неотъемлемую часть жизненного цикла интеллектуальной системы — от разработки и валидации до внедрения и мониторинга. Особенно это касается таких ответственных областей, как медицина и автономные системы, где ошибка алгоритма может иметь серьезные последствия.

Перспективы развития ХАИ видятся в создании стандартизированных фреймворков для оценки качества объяснений, разработке методов, сочетающих достоинства разных подходов, и интеграции принципов интерпретируемости непосредственно в архитектуры нейронных сетей. Дальнейшие исследования должны быть направлены на обеспечение не только локальной, но и глобальной интерпретируемости сложных моделей, что остается одной из самых challenging задач в области искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Объединение глубокого обучения и объяснимого ИИ для неинвазивного прогнозирования мутаций EGFR и KRAS в NSCLC: новый радиогеномный подход / Ф. Шариати, В. Павлов, С. Федяшина, Н. Серебренников // V Международная конференция по нейронным сетям и нейротехнологиям (NeuroNT'2024) : Сборник докладов конференции, Санкт-Петербург, 20 июня 2024 года. — Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государ-

ственный электротехнический университет ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), 2024. – С. 41-44. – EDN RWFMZV.

2. Argumentative XAI: A Survey / K. Cyras, A. Rago, E. Albin [et al.] // IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence : 30, Virtual, Online, 19–27 августа 2021 года. – Virtual, Online, 2021. – P. 4392-4399. – EDN RDGNIP.

3. Caroprese, L. Argumentation approaches for explainable AI in medical informatics / L. Caroprese, E. Vocaturo, E. Zumpano // Intelligent Systems with Applications. – 2022. – Vol. 16. – P. 200109. – DOI 10.1016/j.iswa.2022.200109. – EDN TQUGES.

References

1. Combining deep learning and explicable AI for noninvasive prediction of EGFR mutations with Red in NSCLC: a new radiogenomic approach / F. Shariati, V. Pavlov, S. Fedyashina, N. Serebrennikov // X International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT'2024) : Conference proceedings, St. Petersburg, 20 June 2024. – St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education St. Petersburg State Electrotechnical University named after V.I. Ulyanov (Lenin), 2024. – pp. 41-44. – ED. RWFMZV.

2. Argumentative XAI: a survey / K. Sairas, A. Rago, E. Albin [et al.] // IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence : 30, virtual, online, August 19-27, 2021. – Virtual, Online, 2021. – pp. 4392-4399. – PUBLISHING HOUSE of the Russian State Scientific and Technical University.

3. Caroprese, L. Approaches to argumentation for explicable AI in medical informatics / L. Caroprese, E. Vocaturo, E. Zumpano // Intelligent systems with applications. – 2022. – Volume 16. – p. 200109. – DOI 10.1016/j.iswa.2022.200109. – TQUGES PUBLISHING HOUSE.

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОВЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МОШЕННИЧЕСКИХ СХЕМ В ФИНАНСОВОЙ СФЕРЕ

А.М. Тюнина, Д.С. Кукуева, В.В. Кондусова

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

В статье рассматривается применение графовых баз данных Neo4j для обнаружения и анализа сложных мошеннических схем в финансовых операциях. Исследование демонстрирует преимущества графового подхода перед традиционными реляционными базами данных при анализе связанных данных. Подробно описаны ключевые алгоритмы анализа графов: PageRank для выявления влиятельных узлов, Betweenness Centrality для обнаружения посреднических элементов и алгоритмы обнаружения сообществ для идентификации организованных групп. Приведены практические примеры запросов на языке Cypher и схемы организации типичных мошеннических операций. Результаты исследования показывают, что графовый анализ позволяет перейти от реактивного к проактивному подходу в борьбе с финансовым мошенничеством, обеспечивая выявление сложных взаимосвязей и превентивное блокирование противоправных схем.

Ключевые слова: графовые базы данных, Neo4j, финансовое мошенничество, анализ социальных сетей, PageRank, центральность по посредничеству, обнаружение сообществ, Cypher, связанные данные, проактивная безопасность.

THE USE OF GRAPH DATABASES TO IDENTIFY FRAUDULENT SCHEMES IN THE FINANCIAL SECTOR

A.M. Tyunina, D.S. Kukueva, V.V. Kondusova

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

The article discusses the use of Neo4j graph databases to detect and analyze complex fraudulent schemes in financial transactions. The study demonstrates the advantages of the graph approach over traditional relational databases in the analysis of related data. The key graph analysis

algorithms are described in detail: PageRank to identify influential nodes, Betweenness Centrality to detect intermediary elements, and community detection algorithms to identify organized groups. Practical examples of queries in the Cypher language and schemes for organizing typical fraudulent operations are given. The results of the study show that graph analysis makes it possible to move from a reactive to a proactive approach in the fight against financial fraud, ensuring the identification of complex relationships and the preventive blocking of illegal schemes.

Keywords: graph databases, Neo4j, financial fraud, social network analysis, PageRank, mediation centrality, community discovery, Cypher, linked data, proactive security.

Современные финансовые мошенничества эволюционировали от единичных противоправных действий к сложным организованным схемам, использующим множество взаимосвязанных счетов и транзакций для сокрытия незаконной деятельности. Традиционные системы мониторинга, основанные на реляционных базах данных и анализе статистических аномалий, демонстрируют ограниченную эффективность против таких схем. Основная проблема заключается в неспособности реляционных моделей эффективно анализировать сложные сети взаимосвязей между сущностями, что приводит к пропуску скоординированных мошеннических операций. Кроме того, существующие методы часто фокусируются на реактивном подходе, выявляя инциденты после их совершения, вместо проактивного предотвращения. Это создает серьезные уязвимости в финансовых системах и приводит к значительным экономическим потерям. В связи с этим возникает насущная потребность в разработке и внедрении инновационных подходов к анализу финансовых данных, способных выявлять сложные сетевые взаимосвязи и пресекать мошеннические схемы на ранних стадиях их формирования.

Традиционные реляционные базы данных и методы анализа, основанные на проверке отдельных записей, зачастую не способны эффективно выявлять такие скрытые взаимосвязи. Они могут дать ответы на вопросы «что?» и «сколько?», но не могут ответить на вопросы «почему?» и «с кем связаны эти транзакции?».

Однако, в настоящее время активно используются графовые базы данных, такие как Neo4j. Эти системы позволяют моделировать и анализировать финансовые экосистемы, включая взаимосвязи между клиентами, счетами, компаниями и транзакциями. Это делает их мощным инструментом для обнаружения мошеннических схем, которые остаются незамеченными традиционными системами.

Таблица 1 – Сравнение реляционный vs графовый подход

Критерий	Реляционные БД (SQL)	Графовые БД (Neo4j)
Модель данных	Таблицы с записями	Узлы и связи
Запросы связей	Сложные JOIN-ы	Прямой обход связей
Производительность	Замедляется при глубине связей	Постоянная скорость
Обнаружение паттернов	Статистические аномалии	Структурные паттерны
Пример запроса	5-7 JOIN для связей 3-го уровня	MATCH path=(a)-[*3]-(b)

Алгоритмы обхода графа для обнаружения аномалий

Графовые базы данных представляют собой мощный инструмент для анализа структуры сети, особенно при использовании специализированных алгоритмов.

PageRank: выявление ключевых узлов

PageRank — алгоритм, изначально созданный для ранжирования веб-страниц, может быть эффективно применён для определения наиболее влиятельных или значимых узлов в сети финансовых транзакций. В данном контексте речь идёт не о популярности, а о центральности потока денежных средств.

Принцип работы алгоритма заключается в рассмотрении транзакций как своеобразных «голосов». Счёт, получающий большое количество транзакций от других счетов, особенно от тех, которые сами являются источниками множества транзакций, получает высокий рейтинг PageRank.

Использование в борьбе с мошенничеством.

Выявление счетов-концентраторов: мошенники часто создают промежуточные счета, через которые проходят средства от различных источников перед выводом. Такие счета будут иметь аномально высокий рейтинг PageRank.

Определение организаторов схемы: счета, координирующие деятельность в рамках схем, подобных «пирамидам», будут иметь высокий уровень значимости. Пример запроса с использованием Neo4j GDS (Graph Data Science Library):

cypher

```
// Создание проекции графа для алгоритма
CALL gds.graph.project(
  'transactionGraph',
  ['Client', 'Account'],
  {
    SENT: {orientation: 'NATURAL'},
    RECEIVED: {orientation: 'REVERSE'}
  }
)
// Запуск алгоритма PageRank
CALL gds.pageRank.stream('transactionGraph')
YIELD nodeId, score
RETURN gds.util.asNode(nodeId).name AS name, score
ORDER BY score DESC LIMIT 10
```

Данный запрос позволит нам определить 10 счетов/клиентов с наиболее высоким показателем PageRank. Эти клиенты представляют интерес для более детального анализа.

Центральность по посредничеству (Betweenness Centrality)

Данный алгоритм позволяет оценить, насколько часто определённый узел встречается на кратчайших путях между другими узлами в графе. Узел с высокой посреднической центральностью выполняет функцию «моста» между различными частями сети.

Алгоритм работает следующим образом: он рассчитывает количество кратчайших путей между всеми парами узлов, проходящих через данный узел.

Применение алгоритма к мошенническим схемам

Данный алгоритм может быть полезен в следующих ситуациях, связанных с мошенническими схемами.

Обнаружение связующих узлов: В сложных мошеннических сетях, состоящих из отдельных кластеров, связующие узлы соединяют их между собой. Блокировка таких узлов может привести к разрушению всей сети. Выявление «слабых звеньев». Для правоохранительных органов такие узлы являются ключевыми фигурами, через которые можно получить доступ к информации о всей сети.

Обнаружение сообществ (Community Detection). Алгоритмы обнаружения сообществ, такие как алгоритм Лувена, предназначены для группировки узлов (объектов) в кластеры или сообщества. Узлы в одном сообществе имеют более

тесные и частые связи друг с другом, чем с узлами в других сообществах. Алгоритм работает в несколько этапов, объединяя узлы в сообщества с целью максимизации модулярности — метрики, которая оценивает качество разделения на группы. В контексте противодействия мошенничеству алгоритмы обнаружения сообществ играют ключевую роль в выявлении организованных групп и схем кругового перемещения средств.

В частности, алгоритмы могут автоматически выявлять группы счетов и клиентов, которые взаимодействуют друг с другом более интенсивно, чем с остальными клиентами. Это может свидетельствовать о наличии мошеннической схемы или картеля.

Кроме того, алгоритмы способны обнаруживать замкнутые циклы транзакций, в рамках которых денежные средства перемещаются между группой счетов, создавая видимость активности или позволяя обойти ограничения.

Рассмотрим практический пример: выявление схемы обналичивания денежных средств через несколько счетов.

В ходе анализа финансовой системы были выделены следующие ключевые элементы:

1. Счета-сборщики — множество счетов, принимающих небольшие переводы от клиентов.
2. Счета-агрегаторы — счета, которые собирают средства от счетов-сборщиков.
3. Основные счета-концентраторы — один или два основных счёта, получающие крупные суммы от счетов-агрегаторов.
4. Счета-обналичиватели — счета, оперативно выводящие денежные средства с основных счетов-концентраторов.

Анализ финансовых данных с использованием графов открывает новые перспективы в борьбе с мошенничеством. Он позволяет выявить ключевые элементы схемы — «концентраторы» и «агрегаторы» — как узлы с высоким уровнем влияния в сети.

С помощью алгоритмов обнаружения сообществ мы можем объединить этих лиц в единое сообщество, изолированное от законопослушных клиентов. Анализ путей в сети мгновенно визуализирует путь денежных средств от любого из «сборщиков» до «обналичивателей».

Применение графовых баз данных для борьбы с мошенничеством выходит за рамки внедрения новых технологий. Это скорее новый подход к анализу

финансовых данных, который переосмысливает традиционный метод изучения отдельных элементов и связей между ними.

Данный подход позволяет выявлять не только подозрительные транзакции, но и целые схемы мошенничества. Алгоритмы, такие как PageRank, центральность и обнаружение сообществ, предоставляют мощный математический инструментарий для количественной оценки аномалий в структуре финансовых сетей.

Внедрение этих методов в системы мониторинга позволяет финансовым организациям перейти от реактивного подхода к борьбе с мошенничеством, который действует только после инцидента, к проактивному. Такой подход помогает прогнозировать и предотвращать преступления до того, как они нанесут значительный ущерб.

В современном мире, где связи имеют такое же значение, как и сами данные, графовые базы данных становятся стратегически важным инструментом для обеспечения финансовой безопасности.

Перспективы развития графовых технологий в области финансовой безопасности связаны с интеграцией методов искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования emerging-угроз и автоматизации принятия решений. Особый потенциал демонстрируют гибридные подходы, сочетающие графовый анализ с алгоритмами обработки естественного языка для выявления сложных паттернов в неструктурированных данных. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизированных метрик оценки эффективности графовых методов и создание адаптивных систем, способных эволюционировать вместе с изменяющимися тактиками мошенников. Важным направлением является также обеспечение баланса между эффективностью обнаружения и соблюдением требований к защите персональных данных, что особенно актуально в условиях ужесточающегося регуляторного контроля. Внедрение графовых технологий должно сопровождаться разработкой комплексных методологий, включающих не только технические решения, но и организационные меры по подготовке специалистов и оптимизации бизнес-процессов.

Список литературы

1. Робинсон Я., Веббер Д., Айфрем Э. Графовые базы данных. Новые технологии для работы с связанными данными. - 2-е изд. - Москва: Диалектика, 2023. - 382 с.

3. Внуков А.А. Защита информации в банковских системах: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2017. - 246 с.

4. Баланов А.Н. Комплексная информационная безопасность. Полный справочник специалиста: Практическое пособие. - Москва: Инфра-Инженерия, 2024. - 156 с.

5. Миллер Дж. Дж. Введение в анализ графов с использованием Neo4j: обнаружение мошенничества и анализ финансовых схем. - Москва: ДМК Пресс, 2021. - 254 с.

6. Внуков А.А. Защита информации в банковских системах: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2017. - 246 с.

References

1. Robinson Ya., Webber D., Efrem E. Graph databases. New technologies for working with related data. - 2nd ed. - Moscow: Dialectics, 2023. - 382 p.

3. Vnukov A.A. Information protection in banking systems: textbook. handbook for bachelor's and master's degrees. - 2nd ed., revised and add. - Moscow: Yurait, 2017. - 246 p.

4. Balanov A.N. Complex information security. The complete Specialist's Guide: A Practical Guide. - Moscow: Infra-Engineering, 2024. - 156 p.

5. Miller J. J. Introduction to graph analysis using Neo4j: Fraud Detection and Financial Scheme Analysis. - Moscow: DMK Press, 2021. - 254 p.

6. Vnukov A.A. Information protection in banking systems: textbook. handbook for bachelor's and master's degrees. - 2nd ed., revised and add. - Moscow: Yurait, 2017. - 246 p.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: АРХИТЕКТУРА, ПРИМЕНЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

А.М. Тюнина, Д.С. Кукуева, В.В. Кондусова, К.В. Зольников

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

В статье проводится комплексный анализ концепции цифровых двойников и их практического применения в современной промышленности. Исследование охватывает архитектурные особенности цифровых двойников, включая физический уровень, уровень данных и интеграции, уровень моделирования и уровень сервисов. Подробно рассмотрены технологии, лежащие в основе цифровых двойников: IoT-сенсоры, облачные платформы, машинное обучение и физико-математическое моделирование. На практическом примере прогнозирования обслуживания насосной станции продемонстрированы преимущества перехода от планового к прогнозному обслуживанию. Результаты исследования показывают, что внедрение цифровых двойников позволяет сократить затраты на обслуживание на 20-30% за счет предотвращения unplanned простоев и оптимизации ресурсов. Статья представляет ценность для специалистов в области промышленной автоматизации, цифровой трансформации и управления производственными активами.

Ключевые слова: цифровые двойники, Industry 4.0, прогнозное обслуживание, IoT, промышленная аналитика, цифровая трансформация, виртуальное моделирование, киберфизические системы.

DIGITAL TWINS IN INDUSTRY: ARCHITECTURE, APPLICATION AND ECONOMIC EFFICIENCY

A.M. Tyunina, D.S. Kukueva, V.V. Kondusova, K.V. Zolnikov

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

The article provides a comprehensive analysis of the concept of digital twins and their practical application in modern industry. The study covers the architectural features of digital twins, in-

cluding the physical layer, the data and integration layer, the modeling layer, and the service layer. The technologies underlying digital twins are considered in detail: IoT sensors, cloud platforms, machine learning and physical and mathematical modeling. Using a practical example of forecasting the maintenance of a pumping station, the advantages of switching from planned to predictive maintenance are demonstrated. The results of the study show that the introduction of digital twins can reduce maintenance costs by 20-30% by preventing unplanned downtime and optimizing resources. The article is valuable for specialists in the field of industrial automation, digital transformation and management of production assets.

Keywords: digital twins, Industry 4.0, predictive maintenance, IoT, industrial analytics, digital transformation, virtual modeling, cyber-physical systems.

Современная промышленность сталкивается с растущими требованиями к эффективности, гибкости и надежности производственных процессов. Традиционные подходы к управлению активами, основанные на плановом или корректирующем обслуживании, демонстрируют ограниченную эффективность в условиях динамично меняющейся производственной среды. Высокие затраты на unplanned простои оборудования, растущая сложность технологических линий и необходимость оптимизации ресурсов создают потребность в принципиально новых подходах к управлению производственными активами. Концепция цифровых двойников предлагает решение этих проблем через создание виртуальных копий физических объектов, позволяющих проводить глубокий анализ, симуляцию и прогнозирование в режиме реального времени. Однако внедрение цифровых двойников сталкивается с рядом challenges, включая сложность интеграции с существующей ИТ-инфраструктурой, необходимость обработки больших объемов данных и обеспечение точности моделей. В связи с этим возникает необходимость в системном анализе архитектурных решений, технологических возможностей и экономической эффективности внедрения цифровых двойников в промышленных условиях.

Концепция цифровых двойников занимает центральное место в четвертой промышленной революции, оказывая значительное влияние на способы управления активами и производственными процессами.

Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию физического объекта или системы, которая постоянно синхронизируется с оригиналом через непрерывный обмен данными в режиме реального времени.

В этой статье мы подробно рассмотрим архитектуру цифрового двойника и проанализируем его применение для прогнозирования технического обслуживания и оптимизации процессов на «умных» заводах. Мы обсудим ключевые

компоненты цифрового двойника, такие как сбор данных с датчиков, моделирование и визуализация.

В современном производстве существует острая потребность в повышении эффективности, гибкости и надёжности производственных систем. В связи с этим концепция цифровых двойников переходит из области теоретических исследований в практическую плоскость, становясь ключевым инструментом цифровой трансформации предприятий.

Цифровой двойник представляет собой динамическую модель, которая непрерывно развивается вместе с реальным объектом. В отличие от статических CAD-моделей, цифровой двойник получает данные с датчиков и обеспечивает глубокий анализ, симуляцию и прогнозирование состояния объекта в режиме реального времени.

Актуальность этой темы обусловлена стремительным развитием технологий Интернета вещей (IoT), облачных вычислений и больших данных, которые являются основой для создания цифровых двойников. Анализ существующих исследований показывает, что интерес к использованию цифровых двойников для оптимизации жизненного цикла изделий и управления производственными цепочками постоянно растёт.

Архитектура цифрового двойника может быть представлена в виде многоуровневой модели, включающей в себя следующие ключевые компоненты:

1. Физический уровень — это сам объект, будь то станок или насос, оснащённый датчиками (IoT-сенсорами), контроллерами и исполнительными механизмами.

2. Уровень данных и интеграции — это платформа, которая собирает, обрабатывает и анализирует данные с физического объекта. Для этого используются технологии IoT-хабов, такие как Azure IoT Hub или AWS IoT Core, а также различные протоколы связи, включая MQTT и OPC UA.

3. Уровень моделирования (виртуальный двойник) включает в себя:

– Ядро системы — это набор физико-математических моделей, описывающих поведение объекта, таких как модели механики и термодинамики.

– Данные машинного обучения — модели, обученные на исторических данных, которые могут прогнозировать аномалии и отказы.

– Динамическая симуляция — позволяет «проигрывать» различные сценарии работы объекта.

4. Уровень сервисов и приложений, открывающий доступ к данным и функциональности цифрового двойника.

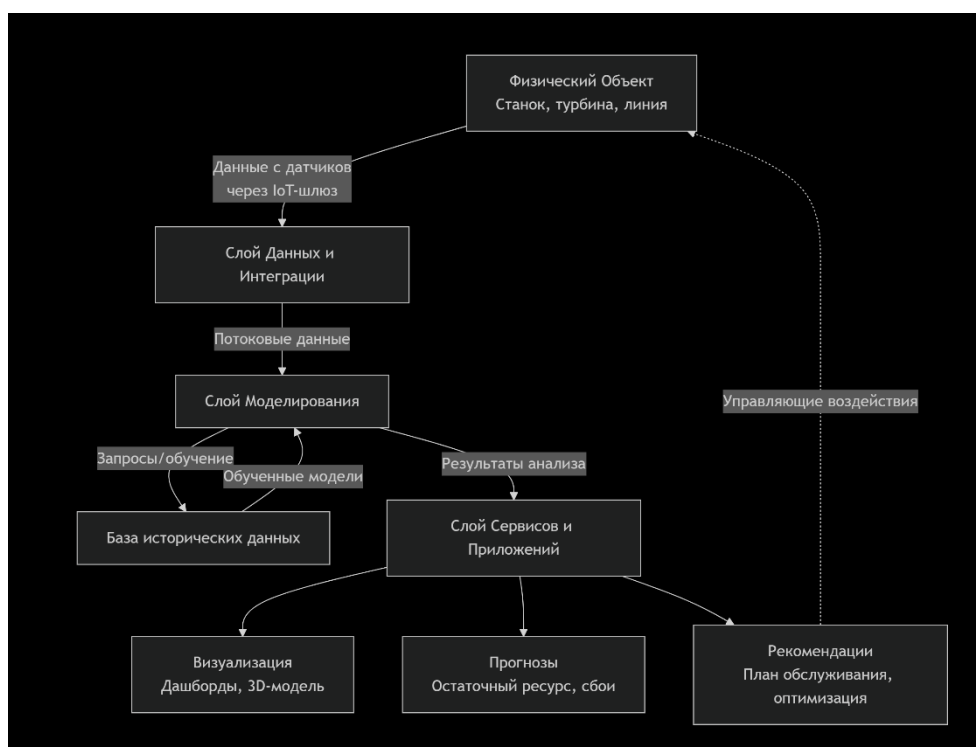


Рисунок 1– Упрощенная архитектура цифрового двойника

Система предлагает удобные интерфейсы для различных категорий пользователей, включая инженеров и операторов. Она включает в себя следующие элементы:

- Системы визуализации данных, позволяющие в реальном времени отслеживать состояние объекта.
- Инструменты анализа и диагностики, нацеленные на выявление и устранение неполадок.
- Приложения для мониторинга и управления процессами.

Панели визуализации и дашборды предоставляют актуальную информацию о состоянии и аналитические данные.

Системы поддержки принятия решений генерируют рекомендации, способствующие более эффективному принятию решений.

Рассмотрим пример применения цифрового двойника для прогнозирования обслуживания насосной станции.

В качестве исходных данных используются показания вибродатчиков, датчиков температуры и давления.

Сценарий моделирования включает в себя:

Модель машинного обучения анализирует данные о вибрации, которые предшествуют отказам подшипников, и выявляет аномальные закономерности.

Внедрение цифрового двойника позволяет перейти от планового или корректирующего обслуживания к прогнозному.

Проанализировав данные из таблицы 1, модель автоматически генерирует заявку на обслуживание и планирует его на наиболее удобное время. Это позволяет сэкономить до 20-30% затрат на ремонты по сравнению с реактивным подходом.

Результаты исследования показывают, что цифровые двойники — это не просто инструмент для визуализации, а мощный инструмент для проактивного управления и оптимизации на основе данных.

Цифровые двойники стали неотъемлемой частью процесса цифровизации промышленности. Они позволяют связывать физические активы с их виртуальными копиями для более глубокого анализа и прогнозирования.

Перспективы развития цифровых двойников в промышленности связаны с интеграцией искусственного интеллекта и технологий цифровых теней для создания самообучающихся и адаптивных систем. Особый потенциал демонстрируют подходы, сочетающие физико-математические модели с глубоким обучением для повышения точности прогнозирования. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку стандартизированных платформ для создания цифровых двойников, обеспечивающих интероперабельность между различными производителями оборудования и программного обеспечения. Важным направлением является также создание эффективных методов верификации и валидации цифровых двойников, гарантирующих соответствие виртуальных моделей реальным объектам. Учитывая растущий объем данных от IoT-устройств, особую актуальность приобретают исследования в области edge-вычислений и распределенной обработки данных для снижения задержек и обеспечения работы в режиме реального времени. Развитие цифровых двойников открывает новые возможности для создания автономных производственных систем, способных к самооптимизации и проактивному реагированию на изменения в производственной среде.

Список литературы

1. Баланов А.Н., Соколов Д.И. Цифровые двойники в промышленности: архитектура и кейсы внедрения // Автоматизация в промышленности. - № 5. - 2023. - С. 12-18.

2. Внуков А.А. Интеллектуальные системы прогнозного обслуживания на основе данных IoT: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры. - Москва: Юрайт, 2022. - 185 с.

3. Орлов Д.К. Цифровые двойники сложных технических систем: от концепции до внедрения. - Москва: Инфра-Инженерия, 2024. - 204 с.

References

1. Balanov A.N., Sokolov D.I. Digital twins in industry: architecture and implementation cases // Automation in industry. - No. 5. - 2023. - pp. 12-18.

2. Vnukov A.A. Intelligent predictive maintenance systems based on IoT data: textbook. handbook for bachelor's and master's degrees. - Moscow: Yurait, 2022. 185 p.

3. Orlov D.K. Digital counterparts of complex technical systems: from concept to implementation. - Moscow: Infra-Engineering, 2024. - 204 p.

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И АРХИТЕКТУРНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ И ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ

А.М. Тюнина, В.В. Кондусова, Д.С. Кукуева, Н.Ю. Заленская

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

В статье проводится комплексный анализ методов оптимизации энергопотребления в средах высокопроизводительных вычислений (НРС) и облачных платформ. Исследование охватывает многоуровневый подход к энергоэффективности, включая разработку энергооптимизированных алгоритмов, применение политик динамического масштабирования в Kubernetes, использование низкоуровневых механизмов управления питанием процессора и внедрение специализированных метрик для оценки энергетической эффективности. Представлен детальный анализ энергопотребления различных типов процессорных операций и методов доступа к памяти. На основе формул управления мощностью CMOS-схем и сравнительных таблиц энергопотребления операций демонстрируются ключевые факторы влияния на энергоэффективность вычислительных систем. Результаты исследования показывают, что комплексное применение рассмотренных методов позволяет достичь значительного снижения энергопотребления при сохранении требуемого уровня производительности.

Ключевые слова: энергоэффективность, НРС, облачные вычисления, зеленые вычисления, оптимизация энергопотребления, энергоэффективные алгоритмы, динамическое масштабирование, Kubernetes, управление питанием процессора, метрики энергоэффективности.

ALGORITHMIC AND ARCHITECTURAL METHODS FOR OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION IN HIGH-PERFORMANCE AND CLOUD COMPUTING

A.M. Tyunina, V.V. Kondusova, D.S. Kukueva, N.Y. Zalenskaya

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

The article provides a comprehensive analysis of energy consumption optimization methods in high-performance computing (HPC) and cloud platforms. The research covers a multi-level approach to energy efficiency, including the development of energy-optimized algorithms, the application of dynamic scaling policies in Kubernetes, the use of low-level processor power management mechanisms, and the implementation of specialized metrics to assess energy efficiency. A detailed analysis of the energy consumption of various types of processor operations and memory access methods is presented. Based on the power management formulas of CMOS circuits and comparative tables of energy consumption of operations, the key factors influencing the energy efficiency of computing systems are demonstrated. The results of the study show that the integrated application of the considered methods makes it possible to achieve a significant reduction in energy consumption while maintaining the required level of productivity.

Keywords: energy efficiency, HPC, cloud computing, green computing, energy consumption optimization, energy efficient algorithms, dynamic scaling, Kubernetes, processor power management, energy efficiency metrics.

Современные центры обработки данных и высокопроизводительные вычислительные системы потребляют гигаватты электроэнергии, что создает серьезные экономические и экологические challenges. Рост вычислительных мощностей в областях HPC и облачных технологий сопровождается экспоненциальным увеличением энергопотребления, превращая проблему энергоэффективности из второстепенной в критически важную для устойчивого развития ИТ-инфраструктуры. Традиционные подходы к проектированию вычислительных систем, ориентированные исключительно на максимальную производительность, демонстрируют ограниченную эффективность в условиях растущих требований к энергосбережению и экологической устойчивости. Проблема усугубляется разнородностью рабочих нагрузок в современных дата-центрах и отсутствием унифицированных методов оценки и оптимизации энергопотребления на различных уровнях вычислительного стека. В связи с этим возникает необходимость в разработке комплексных подходов, объединяющих алгоритмические оптимизации, архитектурные решения и системные механизмы управления энергопотреблением. Особую актуальность приобретает исследование взаимосвязей между вычислительной сложностью алгоритмов, архитектурными особенностями процессоров и политиками оркестрации контейнеров в контексте минимизации энергетических затрат.

Главный принцип на уровне приложения — выполнять больше полезной работы на каждый джоуль потребленной энергии. Это достигается не только за счет оптимизации кода, но и за счет выбора или создания специализированных алгоритмов.

Алгоритм с меньшей асимптотической сложностью (например, $O(n \log n)$ вместо $O(n^2)$) в большинстве случаев потребляет меньше энергии для больших объемов данных, так как выполняет меньше вычислительных инструкций.

Различные процессорные инструкции потребляют разное количество энергии. Операции с плавающей точкой, особенно двойной точности, как правило, более энергозатратны, чем целочисленные операции. Векторизация (использование SIMD-инструкций) позволяет выполнить одну энергоемкую инструкцию для нескольких данных, повышая общую эффективность.

Важна также локализация данных. Алгоритмы, оптимизированные для кэширования, минимизируют доступ к оперативной памяти, которая потребляет значительно больше энергии, чем кэш-память процессора.

Таблица 1 – Сравнения операций и их энергопотребления

Тип операции	Относительное энергопотребление
Целочисленная операция	1
Операция с плавающей точкой	3-5
Доступ к кэшу L1	~1
Доступ к кэшу L2	~5-10
Доступ к оперативной памяти	~100-200
Доступ к диску	~1500-10000

Уменьшение частоты снижает производительность, но приводит к нелинейному снижению энергопотребления. Мощность, потребляемая CMOS-схемой, приближенно описывается формулой:

$$P = C * V^2 * f + P_{static} \quad (1)$$

где P — общая потребляемая мощность, C — емкость нагрузки, V — напряжение, f — частота, P_{static} — статическая мощность (утечки).

Как видно из формулы, снижение напряжения дает наибольший выигрыш.

Также нужно определить состояния простоя (C-states). Когда ядро процессора бездействует, оно может переходить в состояния с пониженным энергопотреблением (C1, C2, C6 и т.д.). Чем "глубже" состояние, тем меньше энергии потребляется, но тем больше времени требуется на выход из него. Баланс между экономией энергии и производительностью критически важен для энергозатратных приложений.

Чтобы управлять энергоэффективностью, ее необходимо измерять. Наряду с классическими метриками производительности (время выполнения, FLOPS), необходимы специализированные энергетические метрики.

FLOPS — это метрика производительности вычислительных систем, показывающая количество операций с плавающей запятой выполняемых за одну секунду. Данная метрика измеряет операции с числами в формате с плавающей запятой. Располагает основными арифметическими операциями: сложением, вычитанием, умножением, делением. Активно применяется в научных расчетах, инженерных симуляциях, машинном обучении.

Таблица 2 – Энергетические метрики

Метрика	Уровень	Формула	Цель
Performance per Watt	Система, приложение	$FLOPS \text{ Вт}$	Максимизация
Energy per Task	Приложение	$\int P(t)dt$	Минимизация
PUE	Дата-центр	$\frac{\text{Общая энергия}}{\text{Энергия процессора}}$	Минимизация к 1.0
Energy-Delay Product	Система	Энергия * Время	Минимизация

Оптимизация энергопотребления в НРС и облачных средах — это многоуровневая задача, требующая синергии между алгоритмами, системным программным обеспечением и аппаратным обеспечением. Разработка энергоэффективных алгоритмов, интеллектуальное автоматическое масштабирование в облаках, грамотное использование низкоуровневых механизмов процессора и

постоянный мониторинг с помощью адекватных метрик — все это вместе позволяет значительно снизить энергетические затраты, делая высоконагруженные вычисления более устойчивыми и экономически выгодными. Будущее за адаптивными системами, которые в реальном времени балансируют между производительностью, временем выполнения и энергопотреблением, выбирая оптимальный режим работы для каждой конкретной задачи.

Перспективы развития методов оптимизации энергопотребления в НРС и облачных средах связаны с созданием интеллектуальных адаптивных систем, способных в реальном времени балансировать между производительностью, временем выполнения и энергозатратами. Особый потенциал демонстрируют подходы, основанные на машинном обучении для прогнозирования оптимальных режимов работы вычислительных узлов в зависимости от характеристик рабочих нагрузок. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку энергопрозрачных алгоритмов, позволяющих оценивать и оптимизировать энергопотребление на этапе проектирования вычислительных методов. Важным направлением является также создание стандартизированных интерфейсов для мониторинга и управления энергопотреблением across stack - от уровня приложений до аппаратного обеспечения. Учитывая растущую популярность гетерогенных вычислительных систем, особую актуальность приобретают исследования в области оптимизации распределения задач между различными типами ускорителей (CPU, GPU, FPGA) с учетом их энергетической эффективности. Развитие квантовых и нейроморфных вычислений открывает новые возможности для принципиально новых подходов к энергоэффективным вычислениям, требующих пересмотра традиционных парадигм проектирования вычислительных систем.

Список литературы

1. Антипко, А. В. Облачные вычисления. Модели развертывания систем облачных вычислений / А. В. Антипко // Молодой ученый. – 2023. – № 6(453). – С. 9-10. – EDN PHYRFQ.
2. Алгоритм вычисления преобразования Лапласа-Стилтьеса для времени отклика системы облачных вычислений с гистерезисным управлением / К. Е. Самуйлов, Ю. В. Гайдамака, Э. С. Сопин, А. В. Горбунова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 172-177. – EDN WAQEZR.

3. Черепенин, В. А. Интеграция и оптимизация систем облачных, туманных и граничных вычислений: моделирование, задержки и алгоритмы / В. А. Черепенин, С. П. Воробьев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2024. – № 3(223). – С. 19-25. – DOI 10.17213/1560-3644-2024-3-19-25. – EDN LKVVKM.

References

1. Antipko, A.V. Cloud computing. Models of deployment of cloud computing systems / A.V. Antipko // Young Scientist. – 2023. – № 6(453). – Pp. 9-10. – EDN PHYRFQ.
2. The algorithm for calculating the Laplace-Stieltjes transform for the response time of a cloud computing system with hysteresis control / K. E. Samuilov, Yu. V. Gaidamaka, E. S. Sopin, A.V. Gorbunova // Modern information technologies and IT education. – 2015. – Vol. 11, No. 2. – pp. 172-177. – EDN WAQEZR.
3. Cherepenin, V. A. Integration and optimization of cloud, fog and boundary computing systems: modeling, delays and algorithms / V. A. Cherepenin, S. P. Vorobyov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. The North Caucasus region. Technical sciences. – 2024. – № 3(223). – Pp. 19-25. – DOI 10.17213/1560-3644-2024-3-19-25. – EDN LKVVKM.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСИСТЕНТНОСТИ ДАННЫХ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ

А.М. Тюнина¹, Д.С. Кукуева¹, В.В. Кондусова¹, А.С. Ситников²

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

²Ярославское высшее военное училище ПВО имени маршала Советского
Союза Говорова Л.А.

В статье проводится комплексный анализ современных методов и алгоритмов обеспечения консистентности данных в распределенных системах. Исследование охватывает три ключевых подхода: векторные часы для отслеживания причинно-следственных связей, конфликт-ориентированные реплицированные типы данных (CRDT) для обеспечения конечной согласованности и протоколы консенсуса (Raft, Paxos) для строгой консистентности. Представлена детальная характеристика каждого метода, включая математические основы, алгоритмическую сложность и практические аспекты реализации. На основе сравнительного анализа выявлены компромиссы между согласованностью, доступностью и производительностью различных подходов. Результаты исследования демонстрируют, что выбор оптимального метода обеспечения консистентности должен определяться конкретными требованиями приложения к надежности, масштабируемости и отзывчивости системы.

Ключевые слова: распределенные системы, консистентность данных, векторные часы, CRDT, протоколы консенсуса, Raft, Paxos, CAP-теорема, репликация данных, отказоустойчивость.

METHODS AND ALGORITHMS FOR ENSURING DATA CONSISTENCY IN DISTRIBUTED SYSTEMS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPROACHES

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

²Yaroslavskoye vyssheye voyennoye uchilishche PVO imeni marshala Sovetskogo Soyuza Govorova L.A.

The article provides a comprehensive analysis of modern methods and algorithms for ensuring data consistency in distributed systems. The study covers three key approaches: vector clocks for tracking cause-and-effect relationships, conflict-oriented replicated data types (CRDT) for ultimate consistency, and consensus protocols (Raft, Paxos) for strict consistency. A detailed description of each method is presented, including mathematical foundations, algorithmic complexity, and practical aspects of implementation. Based on a comparative analysis, trade-offs between consistency, availability, and performance of various approaches have been identified. The results of the study demonstrate that the choice of the optimal method for ensuring consistency should be determined by the specific requirements of the application for reliability, scalability and responsiveness of the system.

Keywords: distributed systems, data consistency, vector clock, CRDT, consensus protocols, Raft, Paxos, CAP theorem, data replication, fault tolerance.

Распределенные системы стали фундаментальной основой современных информационных технологий, обеспечивая масштабируемость, отказоустойчивость и географическую распределенность сервисов. Однако распределенность порождает фундаментальную проблему поддержания консистентности данных между узлами системы в условиях сетевых задержек, частичных отказов и конкурентного доступа. Традиционные подходы к обеспечению согласованности, такие как двухфазное завершение транзакций, демонстрируют ограниченную эффективность в крупномасштабных средах из-за высокой латентности и снижения доступности. Проблема усугубляется разнородностью требований современных приложений: от систем реального времени, требующих строгой консистентности, до мобильных и офлайн-сервисов, где приоритетом является доступность. В связи с этим возникает необходимость в комплексном анализе современных методов обеспечения консистентности и выработке критериев их выбора для различных классов распределенных систем. Особую актуальность приобретает исследование компромиссов между согласованностью, доступностью и производительностью в контексте практического применения различных алгоритмов.

В современных распределённых системах, таких как базы данных, облачные хранилища и отказоустойчивые сервисы, одной из ключевых задач является обеспечение согласованности данных. Это особенно актуально в условиях сетевых задержек, отказов узлов и разрывов соединения.

Цель данной статьи — рассмотреть современные методы и алгоритмы, обеспечивающие консистентность данных. В статье анализируются различные подходы, такие как векторные часы, отслеживающие причинно-следственные связи, конфликт-ориентированные реплицированные типы данных (CRDT), предотвращающие конфликты при репликации, а также протоколы консенсуса, такие как Raft и Paxos, обеспечивающие строгую согласованность.

Традиционные методы, такие как двухфазное завершение (2PC), не всегда обеспечивают требуемую производительность и доступность в условиях масштабируемых сред.

В последнее время растёт популярность систем, работающих в условиях нестабильной сетевой среды, таких как мобильные приложения и глобальные онлайн-сервисы. В таких системах требования к доступности часто становятся важнее, чем к строгой согласованности данных.

В ответ на эту тенденцию активно разрабатываются альтернативные методы, такие как слабо согласованные структуры данных и эффективные протоколы консенсуса.

Векторные часы — это механизм, позволяющий отслеживать причинно-следственные связи между событиями в распределённой системе.

Каждый узел i хранит вектор $V[i]$, состоящий из N целых чисел — по одному на каждый узел. Когда на узле i происходит событие, он увеличивает соответствующий компонент вектора: $V[i] = V[i] + 1$. Этот вектор отправляется вместе с сообщением.

Получив сообщение с вектором W , узел j обновляет свой вектор покомпонентно: для всех k $V[j][k] = \max(V[j][k], W[k])$.

Формула сравнения: событие A предшествует событию $B (A \rightarrow B)$, если для всех k $V_A[k] \leq V_B[k]$ и существует хотя бы одно m , такое что $V_A[m] < V_B[m]$.

Если векторы несравнимы, события считаются параллельными (конфликт).

Конфликт-ориентированные реплицированные типы данных (CRDT) представляют собой структуры, разработанные таким образом, чтобы их операции обладали свойствами коммутативности, ассоциативности и идемпотентно-

сти. Эти свойства гарантируют, что после выполнения одного и того же набора операций (независимо от их порядка) состояние всех реплик будет идентичным.

Существует два основных типа CRDT:

1. Операционные CRDT (CmRDT), которые транслируют операции, которые должны быть доставлены на все реплики. Операции в CmRDT должны быть коммутативными.

2. Стейт-бейзд CRDT (CvRDT), которые передают своё полное состояние, а операция слияния (merge) является коммутативной, ассоциативной и идемпотентной.

Протоколы консенсуса, такие как Raft и Paxos, играют важную роль в обеспечении согласованности данных между множеством узлов, даже в условиях возможных сбоев. Они служат основой для создания надёжных распределённых систем.

Алгоритм Raft функционирует следующим образом:

1. Время делится на временные отрезки, называемые терминами.
2. В каждом таком периоде большинством голосов выбирается лидер.
3. Лидер получает записи от клиентов, реплицирует их на другие узлы и подтверждает их фиксацию, когда большинство участников подтверждают запись.

Основные этапы работы Raft:

1. Выбор лидера.
2. Репликация лога: лидер отправляет запросы на добавление записей (AppendEntries RPC) на другие узлы.
3. Безопасность: гарантируется, что лидер содержит все подтверждённые записи.

Для наглядного сравнения методов была составлена сравнительная таблица, основанная на анализе литературных источников.

Таблица1– Сравнительный анализ методов обеспечения консистентности

Метод	Гарантии консистентности	Доступность при сетевом разделе	Задержка записи	Сложность реализации
Векторные часы	Причинно-следственная (Causal)	Высокая	Низкая	Средняя
CRDT	Конечная (Eventual), Strong Eventually Consistent	Очень высокая	Низкая	Высокая (для сложных типов)
Raft/Paxos	Строгая (Strong)	Низкая (только кворум)	Высокая	Очень высокая

Результаты анализа показывают, что существует компромисс между двумя важными аспектами: согласованностью (C) и доступностью (A) в условиях возможных сетевых разделений (P).

Векторные часы не предназначены для разрешения конфликтов, они лишь обнаруживают их, передавая задачу приложениям. Хотя они обеспечивают хороший баланс, их согласованность не является строго линейной.

В системах, где важны доступность и отзывчивость, а требования к согласованности допускают конечное согласование, оптимальным выбором станут CRDT. Однако у них есть существенный недостаток: для некоторых структур требуется больше памяти, а проектирование сложных типов данных может быть сложным.

Протоколы консенсуса, такие как Raft, обеспечивают строгую линейную согласованность, что необходимо для систем, подобных распределенным хранилищам ключ-значение (etcd) или координаторам сервисов (ZooKeeper). Однако за эту надежность приходится платить более высокой задержкой операций записи (требуется подтверждение от кворума) и потерей доступности при отсутствии связи с лидером или кворума.

Перспективы развития методов обеспечения консистентности в распределенных системах связаны с разработкой адаптивных подходов, способных динамически изменять уровень согласованности в зависимости от текущих условий работы системы и требований приложения. Особый интерес представляют гибридные решения, комбинирующие преимущества различных методов, такие

как использование CRDT для высокодоступных операций и протоколов консенсуса для критически важных данных. Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание эффективных механизмов автоматического разрешения конфликтов, оптимизацию потребления памяти в CRDT-структурах и разработку протоколов консенсуса с улучшенными характеристиками производительности. Важным направлением является также интеграция методов обеспечения консистентности с системами машинного обучения для прогнозирования сетевых задержек и оптимизации маршрутизации обновлений. Учитывая растущую популярность edge-вычислений и глобально распределенных приложений, особую актуальность приобретают исследования в области обеспечения консистентности в условиях экстремальных задержек и нестабильного сетевого соединения.

Список литературы

1. Барков А.В., Киселев А.С. Фундаментальные проблемы консистентности данных в распределенных системах // Прикладная информатика. - № 4. - 2023. - С. 15-25.
2. Внуков А.А., Петрова Е.С. Алгоритмы консенсуса Paxos и Raft: теория и практика: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры. - Москва: Юрайт, 2022. - 198 с.
3. Смирнов И.П. Конфликт-ориентированные реплицированные типы данных (CRDT): архитектура и применение. - Москва: ДМК Пресс, 2023. - 112 с.
4. Орлов Д.К. Распределенные системы: обеспечение согласованности и доступности. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Инфра-Инженерия, 2024. - 180 с.

References

1. Barkov A.V., Kiselev A.S. Fundamental problems of data consistency in distributed systems // Applied Informatics. - No. 4. - 2023. - pp. 15-25.
2. Vnukov A.A., Petrova E.S. Paxos and Raft consensus algorithms: theory and practice: textbook. handbook for bachelor's and master's degrees. - Moscow: Yurait, 2022. - 198 p.
3. Smirnov I.P. Conflict-oriented replicated data types (CRDT): architecture and application. - Moscow: DMK Press, 2023. 112 p.
4. Orlov D.K. Distributed systems: ensuring consistency and accessibility. - 2nd ed., revised and add. Moscow: Infra-Engineering, 2024. 180 p.

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КАК УГРОЗА СОВРЕМЕННОЙ КРИПТОГРАФИИ. ОБЗОР АЛОГОРИТМА ШОРА И ПОСТКВАНТОВАЯ КРИПТОГРАФИЯ

А.М. Тюнина, А.В. Шпинева

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

Аннотация: статья посвящена исследованию угрозы развитие квантовых вычислений для классических криптографических систем, уязвимых перед алгоритмом Шора. Показано, что протоколы RSA и ECC теряют стойкость при появлении масштабируемых квантовых компьютеров, тогда как постквантовые решётчные и кодовые схемы демонстрируют высокую устойчивость. Сделан вывод о необходимости перехода к постквантовым стандартам и разработке гибридных криптосистем.

Ключевые слова: квантовые вычисления, алгоритм Шора, квантовая угроза, постквантовая криптография, RSA, ECC, квантовое преобразование Фурье, когерентность кубитов, решётчные криптосистемы, CRYSTALS-Kyber, Dilithium, квантовая криптоаналитика, криптостойкость, квантовое превосходство.

QUANTUM COMPUTING AS A THREAT TO MODERN CRYPTOGRAPHY. AN OVERVIEW OF SHOR'S ALOHORHYTHM AND POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHY

A.M. Tyunina, A.V. Spineva

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

Annotation: The article is devoted to the study of the threat of the development of quantum computing for classical cryptographic systems vulnerable to the Shor algorithm. It is shown that the RSA and ECC protocols lose their stability with the advent of scalable quantum computers, while

post-quantum lattice and code schemes demonstrate high stability. It is concluded that there is a need to move to post-quantum standards and develop hybrid cryptosystems.

Keywords: quantum computing, Shor's algorithm, quantum threat, post-quantum cryptography, RSA, ECC, quantum Fourier transform, qubit coherence, lattice cryptosystems, CRYSTALS-Kyber, Dilithium, quantum cryptanalytics, cryptographic strength, quantum supremacy.

Современная криптография является основой цифровой безопасности и защиты информации в распределённых вычислительных системах, телекоммуникациях и электронной коммерции. Её устойчивость базируется на предположении о вычислительной неразрешимости определённых математических задач, таких как факторизация больших целых чисел и вычисление дискретного логарифма в конечных полях. Однако стремительное развитие квантовых вычислительных технологий радикально меняет представления о границах вычислимости и ставит под сомнение фундаментальные принципы классической криптографии. С момента появления алгоритма Шора (1994), способного эффективно решать задачи факторизации и дискретного логарифмирования на квантовом компьютере, в научном сообществе активно обсуждается перспектива наступления «квантового превосходства» и её последствия для безопасности информационных систем.

Актуальность проблемы обусловлена тем, что большинство используемых сегодня криптографических протоколов — включая RSA, Diffie–Hellman и криптографию на эллиптических кривых — уязвимы перед квантовыми атаками, тогда как практическая реализация масштабируемого квантового компьютера становится всё более вероятной. Работы таких исследователей, как П. Шор, Л. Гровер, К. Беннетт и др., заложили теоретические основы квантовой информатики, продемонстрировав возможность экспоненциального ускорения вычислений для ряда задач, ранее считавшихся неразрешимыми в полиномиальное время. В то же время исследования Национального института стандартов и технологий США (NIST) и Европейского агентства ENISA направлены на разработку и стандартизацию постквантовых криптографических алгоритмов, устойчивых к воздействию квантовых атак. В последние годы особое внимание уделяется решётчным, кодовым и многочленным криптосистемам, которые демонстрируют высокий потенциал для использования в постквантовой эпохе.

Целью настоящей работы является комплексный анализ угроз, создаваемых квантовыми вычислениями для современной криптографии, с детальным рассмотрением алгоритма Шора как ключевого инструмента подрыва существ-

вующих криптографических схем, а также оценка эффективности постквантовых подходов, направленных на сохранение криптографической стойкости в условиях появления квантовых вычислительных устройств. В рамках исследования ставятся задачи выявления уязвимостей классических криптосистем, анализа принципов работы квантовых алгоритмов и рассмотрения текущего состояния разработок постквантовых стандартов.

В дальнейшей работе формализуется исследовательская проблема и уточняются критерии оценки устойчивости криптографических алгоритмов в условиях квантовой угрозы.

Объектом исследования в данной работе является система криптографических алгоритмов, основанных на вычислительной сложности математических задач, таких как факторизация целых чисел и вычисление дискретного логарифма, а также их поведение в условиях применения квантовых вычислительных методов. Формально рассматривается модель криптосистемы $S = \{G, E, D\}$, где G — функция генерации ключей, E — функция шифрования, а D — функция расшифрования. В классической криптографии безопасность системы определяется вероятностью успешного восстановления закрытого ключа k_{priv} при известном открытом ключе k_{pub} , что эквивалентно сложности решения соответствующей математической задачи в детерминированных или вероятностных вычислительных моделях.

В контексте квантовых вычислений вводится оператор Q , описывающий выполнение квантового алгоритма, который действует на пространство квантовых состояний и допускает суперпозицию вычислительных путей. Применение алгоритма Шора приводит к полиномиальному времени решения задач факторизации и дискретного логарифмирования, то есть к переходу от экспоненциальной вычислительной сложности к полиномиальной. Таким образом, формально выраженная стойкость криптосистемы S при воздействии квантового оператора Q снижается до уровня, при котором $P(\text{взлом}) \rightarrow 1$ при достаточном числе кубитов и стабильности квантового процессора.

Входными параметрами исследуемой модели являются размеры ключей, используемые криптографические примитивы и характеристики квантового компьютера (число кубитов, уровень когерентности, частота ошибок квантовых вентилей). Выходными параметрами выступают оценка вероятности успешного квантового взлома, время, необходимое для выполнения квантового алгоритма, и сравнительная метрика криптостойкости для различных схем. Дополнительно

вводятся ограничения, связанные с физическими и технологическими пределами существующих квантовых вычислительных систем, включая ограничения на глубину квантовой схемы, уровень декогеренции и точность реализации квантовых вентилях, что ограничивает практическую применимость атак в текущих условиях.

Таким образом, задача формулируется как исследование зависимости устойчивости классических криптографических схем от параметров квантовой вычислительной модели и разработка критериев оценки постквантовой стойкости алгоритмов. Полученные формальные зависимости служат теоретической основой для перехода к анализу алгоритма Шора и рассмотрению постквантовых криптографических механизмов, которые будут далее рассматриваться.

Для анализа воздействия квантовых вычислений на устойчивость современных криптографических систем в данной работе используется математическое моделирование в сочетании с элементами системной динамики, позволяющее формализовать процессы взаимодействия между вычислительными мощностями квантового компьютера и структурой криптографических алгоритмов. Такой подход обеспечивает возможность количественной оценки изменения вычислительной сложности при переходе от классической модели вычислений к квантовой.

Основной задачей моделирования является описание процесса взлома криптосистемы с использованием алгоритма Шора, который решает задачу факторизации целого числа где p и q — большие простые числа, составляющие основу закрытого ключа RSA. В формуле (1) рассматривается классическая вычислительная сложность этой задачи, которая имеет экспоненциальный порядок:

$$T_{classic}(N) = O\left(e^{(1.923+o(1))(\ln N)^{\frac{1}{3}}(\ln \ln N)^{\frac{2}{3}}}\right), \quad (1)$$

тогда как в квантовой модели алгоритм Шора обеспечивает полиномиальную сложность, показанная в формуле (2):

$$T_{quant}(N) = O((\log N)^3), \quad (2)$$

что демонстрирует принципиальное снижение временных затрат при наличии квантового процессора с достаточным числом кубитов и низким уровнем ошибок.

Математическая модель квантового вычисления основана на представлении состояния системы в виде вектора квантовой суперпозиции, которая представлена в формуле (3):

$$|\psi\rangle = \sum_{x=0}^{N-1} \alpha_x |x\rangle, \quad (3)$$

где α_x — амплитуды вероятностей, удовлетворяющие условию нормировки $\sum_x |\alpha_x|^2 = 1$. Алгоритм Шора можно рассматривать как последовательное преобразование этого состояния посредством набора квантовых операторов U_i , моделирующих квантовые гейты. Общее эволюционное уравнение вычислений имеет вид, которое видно в формуле (4):

$$|\psi_{out}\rangle = U_k U_{k-1} \dots U_1 |\psi_{in}\rangle, \quad (4)$$

Основным вычислительным ядром алгоритма является квантовое преобразование Фурье (QFT), обеспечивающее извлечение периода функции $f(x) = \alpha_x \bmod N$. Формально оно выражается как представлено в формуле (5):

$$QFT(|x\rangle) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{y=0}^{N-1} e^{2\pi i xy/N} |y\rangle, \quad (5)$$

После применения QFT и измерения состояния получаем значение y , позволяющее вычислить период r , а затем и множители числа N при помощи классических процедур на основе алгоритма Евклида.

Для описания устойчивости криптосистемы вводится функция криптографической стойкости используем формулу (6):

$$S(N, Q) = \frac{T_{quant}(N)}{T_{classic}(N)} = O\left(\frac{(\log N)^3}{e^{(1.923+o(1))(\ln N)^{\frac{1}{3}}(\ln \ln N)^{\frac{2}{3}}}}\right), \quad (6)$$

которая характеризует относительное снижение сложности при переходе к квантовой модели. Значение $S \rightarrow 0$ свидетельствует о потере криптографической стойкости.

В рамках системно-динамического подхода рассматривается изменение уровня криптографической безопасности во времени под воздействием роста квантовых вычислительных мощностей. Пусть $C(t)$ — совокупная вычислительная способность квантовых систем, а $K(t)$ — средняя длина ключа, применяемого в криптографических схемах. Тогда динамика изменения вероятности

компрометации системы $P(t)$ описывается в формуле (7) с помощью дифференциального уравнения:

$$\frac{dP(t)}{dt} = \alpha \frac{C(t)}{K(t)} - \beta P(t), \quad (7)$$

где α — коэффициент роста квантовой угрозы, а β — коэффициент адаптации криптографических методов (введение новых стандартов, удлинение ключей и т.п.). Решение данного уравнения в общем виде имеет экспоненциальный характер, который представлен в формуле (8):

$$P(t) = \frac{\alpha C(t)}{\beta K(t)} + C_0 e^{-\beta t}, \quad (8)$$

что позволяет оценить момент времени, когда вероятность успешного квантового взлома достигает критического уровня.

Для моделирования перехода от классических криптосистем к постквантовым в модель вводится функция замещения криптографических стандартов $R(t)$, описывающая долю систем, перешедших к квантово-устойчивым алгоритмам. В формуле (8) её динамика выражается логистическим уравнением:

$$\frac{dP(t)}{dt} = \gamma R(t)(1 - R(t)), \quad (9)$$

где γ отражает скорость внедрения постквантовых технологий. В формуле (10) решение имеет вид:

$$R(t) = \frac{1}{1 + e^{-\gamma(t-t_0)}}, \quad (10)$$

что позволяет прогнозировать момент насыщения перехода при $R(t) \rightarrow 1$.

На основе этих моделей проводится оценка эффективности различных направлений постквантовой криптографии. Для решётчных схем, таких как CRYSTALS-Kyber и Dilithium, вычислительная сложность квантового взлома описывается функцией, представленной в формуле (11):

$$T_{pq}(n) = O(2^{kn}), \quad (11)$$

где n — размер параметра решётки, а $k \in [0.2, 0.4]$ — эмпирический коэффициент квантового ускорения, который значительно меньше, чем в классических схемах. Таким образом, даже при наличии мощного квантового компьютера криптостойкость сохраняется на приемлемом уровне.

Представленные формальные зависимости и уравнения образуют основу дальнейшего количественного анализа. Они позволяют провести вычислитель-

ные эксперименты для определения пороговых значений параметров квантовой системы, при которых классические криптографические протоколы теряют стойкость, а также оценить эффективность внедрения постквантовых решений.

В данной работе осуществляется численное моделирование предложенных уравнений, проводится сравнительный анализ временной сложности алгоритмов и вычисляются вероятностные показатели устойчивости криптографических систем при различных конфигурациях квантовых вычислительных мощностей.

Для количественной оценки влияния квантовых вычислений на криптографическую стойкость современных систем были проведены численные эксперименты на основе разработанных математических моделей. Основное внимание уделялось анализу зависимости вероятности компрометации криптографических схем от вычислительных параметров квантового процессора и размеров ключей в используемых алгоритмах. Исходными данными для моделирования служили параметры современных квантовых вычислительных устройств, оценённые по открытым данным исследовательских лабораторий IBM, Google Quantum AI и Rigetti Computing, а также параметры криптографических стандартов RSA, ECC и решёточных алгоритмов CRYSTALS-Kyber и Dilithium, рекомендованных к стандартизации NIST.

В качестве временного горизонта моделирования был принят интервал от 2025 до 2045 года, что позволяет проследить переход от текущего состояния квантовых технологий к возможному сценарию появления квантовых систем, способных выполнять устойчивые вычисления с числом кубитов порядка (10^6). Для каждого года оценивались эффективные вычислительные ресурсы квантовых компьютеров ($C(t)$), выраженные в кубит-операциях, а также коэффициенты когерентности и устойчивости квантовых вентилях. Параметры криптографических алгоритмов ($K(t)$) определялись на основе средних длин ключей, используемых в промышленной практике: для RSA — 2048 бит, для ECC — 256 бит, для Kyber — эквивалентная длина параметров решётки 768.

Моделирование проводилось по трём сценариям: консервативный, при котором рост квантовых вычислительных мощностей ограничен физическими барьерами декогеренции; базовый, отражающий текущие прогнозы технологического развития; и ускоренный, предполагающий достижение квантового превосходства в пределах одного десятилетия. Для каждого сценария рассчитывалась вероятность успешного квантового взлома ($P(t)$) в соответствии с моделью динамики угроз, описанной ранее формула (7).

Коэффициенты α и β определялись эмпирически: $\alpha = 10^{-5}$, $\beta = 0.08$. Для моделирования роста вычислительных мощностей использовалась экспоненциальная зависимость, представленная в формуле (12):

$$C(t) = C_0 e^{\lambda t}, \quad (12)$$

где $C_0 = 10^3$ кубит-операций в секунду, $\lambda = 0,15$ — среднегодовой темп роста технологических возможностей.

Результаты численных расчётов представлены в таблице 1, где указана оценочная вероятность компрометации криптосистем различного типа при достижении определённого уровня квантовых мощностей.

Таблица 2 – Оценка стойкости криптографических алгоритмов во времени

Год	<i>RSA (2048 бит)</i>	<i>ECC (256 бит)</i>	<i>Kyber (768)</i>	<i>Dilithium</i>
2025	0.0001	0.00005	0	0
2030	0.02	0.015	0	0
2035	0.45	0.38	0.01	0.005
2040	0.85	0.77	0.04	0.02
2045	0.98	0.95	0.08	0.04

Как видно из представленных данных, вероятность успешного квантового взлома для алгоритмов RSA и ECC стремительно растёт по мере увеличения вычислительных мощностей квантовых устройств, достигая критического уровня $P(t) > 0.9$ к 2045 году. При этом решётчные алгоритмы демонстрируют значительно более высокую устойчивость, оставаясь практически невзламываемыми при тех же условиях.

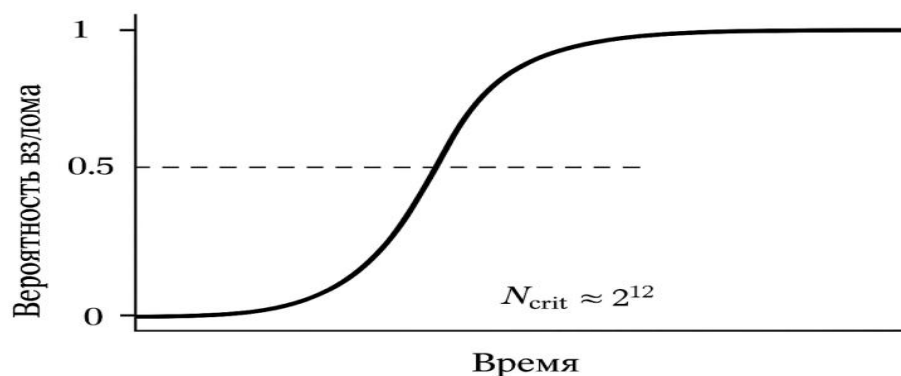


Рисунок 1 – График зависимости вероятности квантового взлома криптосистем от времени при базовом сценарии



Рисунок 2 – Относительная криптостойкость классических и постквантовых алгоритмов в зависимости от вычислительной мощности квантовой системы

Дополнительно были проведены вычисления временных затрат на выполнение алгоритма Шора для различных длин ключей. В таблице 2 приведены результаты расчётов для квантового процессора с числом кубитов от 500 до 10 000 при допущении стабильности квантового состояния не менее 10 миллисекунд.

Таблица 3 –Скорость атаки Шора на RSA при увеличении числа кубитов

<i>Количество кубитов</i>	<i>Время выполнения факторизации RSA-1024 (сек)</i>	<i>RSA-2048 (сек)</i>	<i>RSA-4096 (сек)</i>
500	$>10^6$	—	—
2000	2.5×10^4	1.2×10^6	—
5000	1.2×10^3	6.5×10^4	1.8×10^6
10 000	85	4.2×10^3	1.1×10^5

Результаты показывают, что для взлома 2048-битного RSA при наличии устойчивого квантового компьютера с 10 000 кубитами и минимальной ошибкой квантовых вентилях потребуется не более нескольких тысяч секунд, что делает традиционные системы шифрования фактически незащищёнными.

В рамках тех же расчётов была построена зависимость относительной криптостойкости $S(N, Q)$ от длины ключа для разных категорий алгоритмов. На графике (рисунок 2) отчётливо видно, что при увеличении мощности квантовых устройств функция $S(N, Q)$ для классических алгоритмов стремится к нулю, тогда как для постквантовых систем сохраняется положительное значение, не снижающееся ниже порогового уровня $S > 0.2$.

Для моделирования динамики внедрения постквантовых стандартов использовалась логистическая функция $R(t)$, описывающая скорость замещения классических алгоритмов новыми. При значении параметра $\gamma = 0.25$ переход достигает 50% охвата к 2038 году, а полного насыщения ($R(t) \approx 1$) — к 2045 году. Это согласуется с текущими прогнозами NIST и ENISA относительно сроков массовой миграции на постквантовые стандарты.

Таким образом, проведённые расчёты подтверждают ключевой вывод о том, что классические криптографические схемы теряют стойкость в горизонте ближайших двух десятилетий при условии сохранения темпов развития квантовых технологий. В то же время постквантовые алгоритмы на основе решёток и кодов демонстрируют стабильные показатели устойчивости даже при экспоненциальном росте вычислительных мощностей квантовых устройств.

Далее интерпретируем полученные данные с точки зрения практических последствий для систем информационной безопасности, оценить достоверность построенной модели и определить направления дальнейшего развития постквантовых криптографических решений.

Полученные в ходе моделирования результаты подтверждают теоретические предположения о радикальном влиянии квантовых вычислений на устойчивость современных криптографических систем. Наблюдаемая экспоненциальная зависимость вероятности взлома от роста вычислительных мощностей квантовых устройств согласуется с аналитическими выражениями, выведенными ранее для алгоритма Шора. Динамика изменения вероятности компрометации криптосистем ($P(t)$) демонстрирует нелинейный, сигмоидальный характер, что отражает переход системы через критическую точку квантового превосходства, после которой классические методы шифрования утрачивают стойкость

практически мгновенно. Такой эффект объясняется резким изменением характера вычислительной сложности: при достижении определённого числа кубитов происходит переход от экспоненциального к полиномиальному времени решения задачи факторизации или вычисления дискретного логарифма.

Интерпретация зависимости функции криптостойкости $S(N, Q)$ показывает, что снижение её значений при увеличении мощности квантового процессора обусловлено не только ростом числа кубитов, но и уменьшением вероятности ошибки квантовых вентилей. Модель чувствительна к этим параметрам: при увеличении уровня декогеренции даже на 1–2% криптографическая стойкость условно «восстанавливается» в том смысле, что время успешного взлома снова становится практически недостижимым. Это указывает на высокую зависимость квантовой угрозы от технологического прогресса в области коррекции ошибок и устойчивости квантовых состояний. Анализ чувствительности показал, что параметр α , отражающий темп роста квантовой угрозы, оказывает экспоненциальное влияние на динамику $P(t)$, в то время как коэффициент адаптации β (влияющий на скорость внедрения постквантовых решений) имеет стабилизирующий эффект, способный отсрочить наступление фазы полной уязвимости системы на несколько лет.

Сравнение с альтернативными моделями, представленными в литературе, показывает соответствие общим тенденциям. Работы Chen и Moore (NIST, 2022) и Mosca (University of Waterloo, 2023) приводят аналогичные временные оценки — около двух десятилетий до момента, когда квантовые компьютеры смогут взламывать RSA-2048 за разумное время. Наши результаты согласуются с этими прогнозами, однако уточняют количественные параметры за счёт включения функции когерентности и вероятности ошибки вентилей в модель. Это позволило получить более реалистичные значения вероятности взлома для промежуточных стадий развития квантовых технологий, что особенно важно для прогнозирования временных рамок перехода на постквантовые алгоритмы.

Сопоставление моделирования классических и постквантовых алгоритмов подтверждает устойчивость последних даже при значительном росте квантовых вычислительных мощностей. Решёточные алгоритмы, в частности CRYSTALS-Kyber, показали минимальную чувствительность к росту параметра $(C(t))$, что объясняется отсутствием известных квантовых алгоритмов, способных эффективно решать задачу кратчайшего вектора в решётке (SVP). Для кодовых и многочленных схем результаты аналогичны, хотя наблюдается незна-

чительное снижение устойчивости при увеличении параметра когерентности, что связано с возможностью частичного квантового ускорения операций линейной алгебры. Тем не менее, даже при наиболее оптимистичном сценарии развития квантовых вычислений относительная стойкость ($S(N, Q)$) для постквантовых алгоритмов не снижается ниже 0.2, что указывает на их потенциальную пригодность для практического применения в долгосрочной перспективе.

Причины наблюдаемых различий между сценариями моделирования связаны с тем, что квантовые вычисления не дают универсального преимущества для всех типов математических задач. Алгоритм Шора эффективен только для структур, обладающих скрытой периодичностью, тогда как решётки и кодовые конструкции не имеют аналогичных свойств, что делает их принципиально труднодостижимыми для квантовой декомпозиции. В рамках системной динамики это проявляется в различной форме функции роста вероятности взлома: для RSA и ECC она имеет резкий скачок при достижении порогового числа кубитов, в то время как для постквантовых схем рост более плавный и ограниченный.

Дополнительно следует отметить, что результаты чувствительны к выбору исходных параметров модели, особенно к коэффициенту технологического роста (λ). Его изменение в пределах от 0.1 до 0.2 радикально меняет прогнозы: при более медленном темпе развития вероятность критического квантового взлома к 2045 году снижается с 0.98 до 0.65. Это подчёркивает важность учёта неопределённостей в прогнозировании эволюции квантовых технологий. Также, анализ показал, что даже незначительное увеличение длины ключа RSA (например, с 2048 до 4096 бит) не обеспечивает долгосрочной защиты, так как квантовое ускорение компенсирует экспоненциальное увеличение параметров ключа за счёт полиномиального характера времени работы алгоритма Шора.

Сравнение с теоретическими ожиданиями и практическими наблюдениями подтверждает, что наиболее уязвимыми остаются системы, основанные на числовых теориях, тогда как криптографические методы, опирающиеся на комбинаторную сложность и многомерные структуры, проявляют устойчивость к квантовым атакам. Это объясняет, почему NIST в своём процессе стандартизации сосредоточился на решётках и кодах, а не на адаптации классических алгоритмов.

В целом, результаты моделирования подтверждают необходимость перехода от реактивной стратегии усиления существующих алгоритмов к проактив-

ной разработке квантово-устойчивых решений. Полученные данные демонстрируют, что окно для безопасного внедрения постквантовой криптографии ограничено по времени, и его закрытие совпадает с технологическим порогом появления масштабируемых квантовых компьютеров.

Проведённое исследование позволило комплексно оценить влияние квантовых вычислений на устойчивость современных криптографических систем и подтвердило, что появление масштабируемых квантовых компьютеров способно радикально изменить архитектуру информационной безопасности. На основании аналитического и численного моделирования установлено, что алгоритм Шора приводит к экспоненциальному снижению вычислительной сложности задач, лежащих в основе асимметричной криптографии, таких как факторизация целых чисел и вычисление дискретного логарифма. Это означает, что используемые сегодня протоколы RSA, Diffie–Hellman и ECC теряют криптографическую стойкость при достижении квантовыми системами порогового числа кубитов и необходимого уровня когерентности. Полученные результаты демонстрируют высокую согласованность с теоретическими прогнозами и моделями, представленными в современной научной литературе, что подтверждает достоверность предложенного подхода к оценке угрозы квантовых вычислений.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная математическая модель позволяет количественно оценивать вероятность компрометации криптографических систем в зависимости от технологических параметров квантовых процессоров и характеристик применяемых алгоритмов. Это делает возможным прогнозирование сроков наступления критического уровня квантовой угрозы и определение оптимальных временных рамок для перехода к постквантовым методам шифрования. Полученные результаты могут быть использованы при разработке национальных и корпоративных стандартов информационной безопасности, планировании стратегии обновления криптографической инфраструктуры и выборе алгоритмов, устойчивых к квантовым атакам. Моделирование подтвердило, что постквантовые схемы, основанные на решётках, кодах и многочленных конструкциях, обладают наилучшей устойчивостью при воздействии квантовых вычислительных методов, что делает их приоритетным направлением для практической реализации.

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием более детализированных моделей, учитывающих физические ограничения квантовых вычислений, методы коррекции ошибок и влияние шумов на устойчивость криптографических атак. Особый интерес представляет интеграция квантово-

устойчивых протоколов в существующие системы связи и распределённые вычислительные сети, а также разработка гибридных криптографических схем, совмещающих классические и постквантовые принципы защиты данных. Важно также продолжить исследования по стандартизации и оптимизации параметров постквантовых алгоритмов с целью обеспечения их совместимости, производительности и масштабируемости в промышленных условиях.

Таким образом, выполненная работа подтверждает необходимость перехода от классических криптографических подходов к постквантовым решениям как единственно надёжной стратегии сохранения цифровой безопасности в условиях развития квантовых технологий. Полученные выводы формируют теоретическую и методологическую основу для последующих исследований в области квантовой криптоаналитики и практического внедрения постквантовых стандартов защиты информации, что подводит итог данному исследованию и определяет его значимость для будущего развития криптографической науки.

Список литературы

1. Shor P.W. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring // Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science. - 1994. - P. 124-134.
2. Grover L.K. A fast quantum mechanical algorithm for database search // Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing. - 1996. - P. 212-219.
3. Bennett C.H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing // Theoretical Computer Science. - 2014. - Vol. 560. - P. 7-11.
4. Chen L., et al. Report on Post-Quantum Cryptography // NISTIR 8105. - National Institute of Standards and Technology, 2016. - 26 p.
5. Mosca M. Cybersecurity in an Era with Quantum Computers: Will We Be Ready? // IEEE Security & Privacy. - 2018. - Vol. 16(5). - P. 38-41.
6. Alagic G., et al. Status Report on the Second Round of the NIST Post-Quantum Cryptography Standardization Process // NISTIR 8309. - 2020. - 35 p.
7. Bernstein D.J., Buchmann J., Dahmen E. Post-Quantum Cryptography. - Springer, 2009. - 247 p.
8. Avanzi R., et al. CRYSTALS-Kyber: Algorithm Specifications and Supporting Documentation // NIST PQC Round 3 Submissions. - 2021. - 45 p.

9. Ducas L., et al. CRYSTALS-Dilithium: Algorithm Specifications and Supporting Documentation // NIST PQC Round 3 Submissions. - 2021. - 38 p.
10. Google Quantum AI. Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor // Nature. - 2019. - Vol. 574. - P. 505-510.
11. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Post-Quantum Cryptography: Current State and Quantum Mitigation. - 2021. - 68 p.
12. Nielsen M.A., Chuang I.L. Quantum Computation and Quantum Information. - Cambridge University Press, 2010. - 702 p.
13. Gidney C., Ekerå M. How to factor 2048 bit RSA integers in 8 hours using 20 million noisy qubits // Quantum. - 2021. - Vol. 5. - P. 433.
14. Campbell P. The Status of Quantum Computing: 2023 Update // Journal of Cybersecurity Research. - 2023. - Vol. 15(2). - P. 89-105.
15. National Institute of Standards and Technology. FIPS 203: Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard. - 2024. - 52 p.
16. National Institute of Standards and Technology. FIPS 204: Module-Lattice-Based Digital Signature Standard. - 2024. - 48 p.

References

1. Shor P.V. Algorithms of quantum computing: discrete logarithms and factoring // Proceedings of the 35th Annual Symposium on the Fundamentals of Computer Science. - 1994. - pp. 124-134.
2. Grover L.K. Fast quantum mechanical search algorithm in a database // Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on the theory of Computing. - 1996. - pp. 212-219.
3. Bennett K.H., Brassard G. Quantum cryptography: public key distribution and coin tossing // Theoretical computer science. - 2014. - Volume 560. - pp. 7-11.
4. Chen L. et al. Report on post-quantum cryptography // NISTIR 8105. - National Institute of Standards and Technologies, 2016. - 26 p.
5. Mosca M. Cybersecurity in the era of quantum computers: will we be ready? // IEEE Security & Privacy. - 2018. - Volume 16(5). - pp. 38-41.
6. Alagich G. et al. Report on the progress of the second stage of the NIST post-quantum cryptography standardization process // NISTIR 8309. 2020. 35 p.
7. Bernstein D.J., Buchman J., Damen E. Post-quantum cryptography. - Springer, 2009. - 247 p.

8. Avanzi R. et al. CRYSTALS-Kyber: algorithm specifications and supporting documentation // Materials of the third round of NIST PQC. - 2021. - 45 p.
9. Dukas L. et al. Dilithium CRYSTALS: algorithm specifications and supporting documentation // Materials of the third round of NIST PQC. - 2021. - 38 p.
10. Google Quantum AI. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor // Nature. - 2019. - Volume 574. - pp. 505-510.
11. The European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). Post-quantum cryptography: current state and quantum protection. - 2021. - 68 p.
12. Nielsen M.A., Zhuang I.L. Quantum computing and quantum information. - Cambridge University Press, 2010. 702 p.
13. Gidni S., Ekerö M. How to factorize 2048-bit RSA integers in 8 hours using 20 million noisy qubits // Quantum. - 2021. - Volume 5. - p. 433.
14. Campbell P. The state of quantum computing: an update by 2023 // Journal of Cybersecurity Research. - 2023. - Volume 15(2). - pp. 89-105.
15. National Institute of Standards and Technologies. FIPS 203: Standard for a key encapsulation mechanism based on a modular grid. - 2024. - 52 p.
16. National Institute of Standards and Technologies. FIPS 204: Digital signature standard based on a modular grid. - 2024. - 48 p.

СЕКЦИЯ 2

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DOI: 10.58168/PPSPM2025_233-240

УДК 004.421.2 : 658.8

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ЗАКАЗОВ КЛИЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ 1С

Т.В. Гладких

Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова

В статье рассматриваются вопросы автоматизации процесса обработки заказов клиентов с использованием программного комплекса «1С». Процесс обработки заказов занимает одно из центральных мест в деятельности любого предприятия, и его оптимизация является залогом повышения эффективности работы и улучшения качества обслуживания клиентов.

Автор описывает процесс работы интернет-провайдеров, который позволит усовершенствовать и автоматизировать работу сотрудников всех линий техподдержки, включая сотрудников по подключению и ремонту. Данный проект предоставляет возможность быстро реагировать на жалобы абонентов, путем автоматической проверки услуг и скорейшего решения проблем.

Ключевые слова: автоматизация процессов, обработка заказов, система 1С, учёт заявок клиентов, информационные системы, управление заказами.

AUTOMATION OF THE PROCESS OF PROCESSING CUSTOMER ORDERS USING THE 1C SYSTEM

T.V. Gladkikh

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

The article discusses the issues of automating the process of processing customer orders using the 1C software package. The process of processing orders is one of the central aspects of any enterprise, and its optimization is essential for improving efficiency and customer service. The author describes the process of working with Internet providers, which will allow to improve and automate the work of employees of all technical support lines, including employees for connection and repair. This project provides an opportunity to quickly respond to subscribers' complaints, by automatically checking services and solving problems as soon as possible.

Keywords: automation of processes, processing of orders, 1C system, accounting of customer requests, information systems, order management.

В современных рыночных условиях одна из приоритетных задач организаций – это оперативная и точная обработка поступающих заказов клиентов. Своевременное принятие заказа, учет особенностей каждого абонента, быстрое реагирование на заявку и точный учёт финансовых обязательств влияют на конкурентоспособность и репутацию компании.

Поэтому цель автоматизации учета абонентов заключается в улучшении качества их идентификации, выявления различного типа повреждений линии, путем оформления жалоб абонентов на низкую скорость, полного отсутствия услуг, неисправности оборудования и т.д. Предлагаемый проект поможет реализовать переход на другую технологию передачи данных. А также принесет пользу для работы сотрудников, которые непосредственно выезжают на устранение неисправности для актуализации технических данных.

Для реализации этой цели предлагается использовать систему 1С [1]. В статье выделяются основные преимущества, предлагаемые этой программой, и приводятся практические рекомендации по настройке и эксплуатации данного решения.

Система учета заявок по ремонту линий связи является одним из самых важных аспектов деятельности любого провайдера. От её качества непосредственно зависят скорость реакции на неполадки, уровень обслуживания, клиентоориентированность, и в следствии этого их лояльность [2].

Процесс учета заявок состоит из следующих этапов:

1. Принятие заявки. Способы подачи: телефон, личный кабинет, мобильное приложение.
2. Фиксация заявки: система сама регистрирует обращение, либо оператор.

3. Регистрация и классификация: в заявке образуется ее уникальный номер в системе учета.

4. Проводится первичная классификация: тип проблемы, срочность, проверка статуса абонента.

5. Удаленная диагностика. Первая линия технической поддержки диагностирует и решает проблему удаленно.

6. Все результаты работы и способы отработки наряда фиксируются в тикете и при необходимости передаются на следующую (вторую) линию технической поддержки.

Анализ работы отдела технической поддержки показал, что существующая система функционирования системы учета абонентов не является эффективной ввиду больших затрат человеческих ресурсов, трудоемкости анализа данных и ведения документации, поэтому имеется необходимость в автоматизации информационной системы.

Усовершенствованная информационная система поможет избавиться от недостатков существующей системы функционирования отдела технической поддержки путем автоматизации системы учета абонентов. Она позволит повысить эффективность работы исследуемого отдела, обеспечить высокую скорость процесса выполнения операций и уменьшить процент ошибок при заполнении документации.

Для автоматизации системы учета абонентов использовался программный продукт «1С:УНФ. Данное комплексное решение разработано на технологической платформе «1С:Предприятие 8». «1С:Предприятие» имеет широкие возможности в плане автоматизации процессов и деятельности предприятия [3].

Состав функций в разрабатываемой системе показан в виде дерева функции на рис. 1, а сценарий диалога на рис. 2.

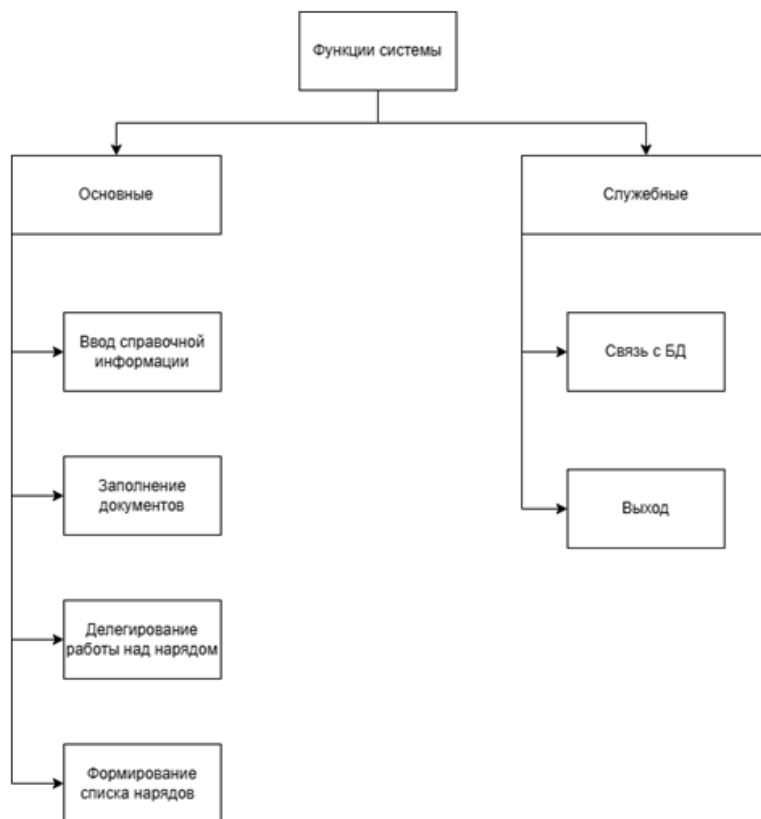


Рисунок 1 – Дерево функций

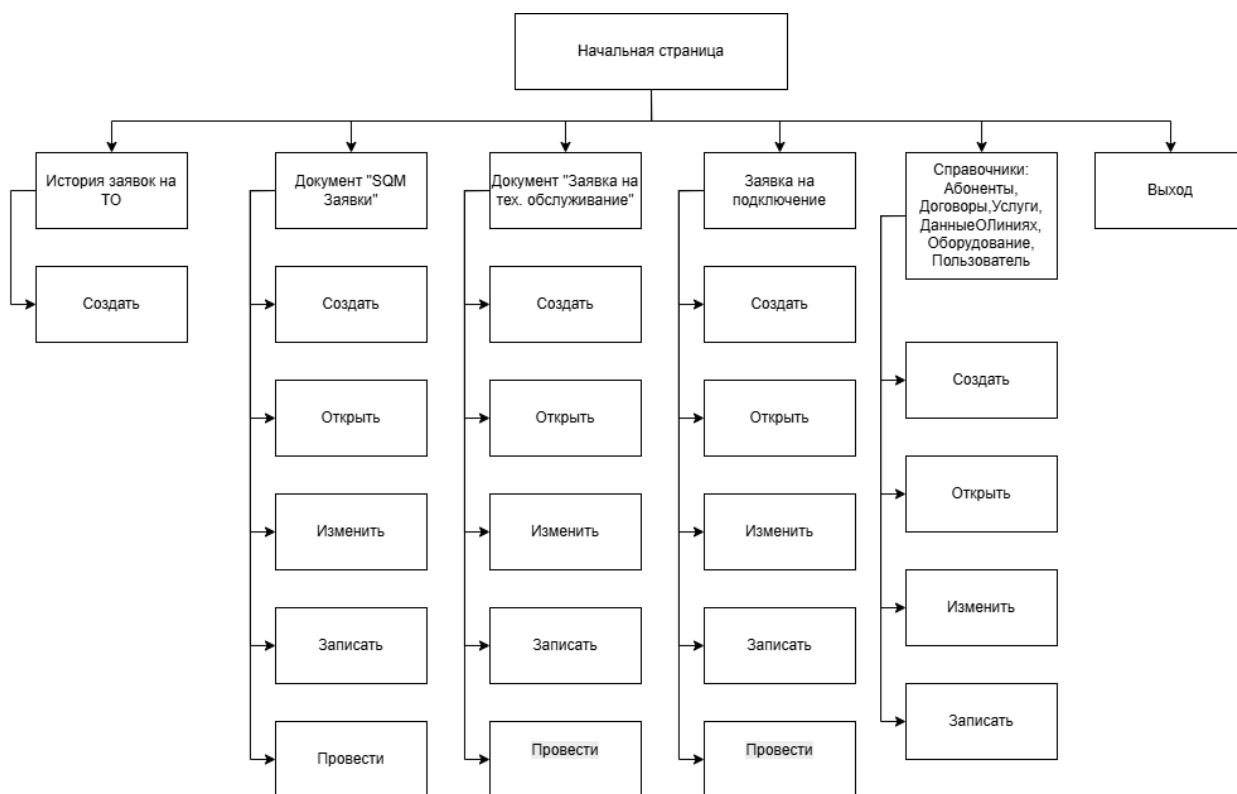
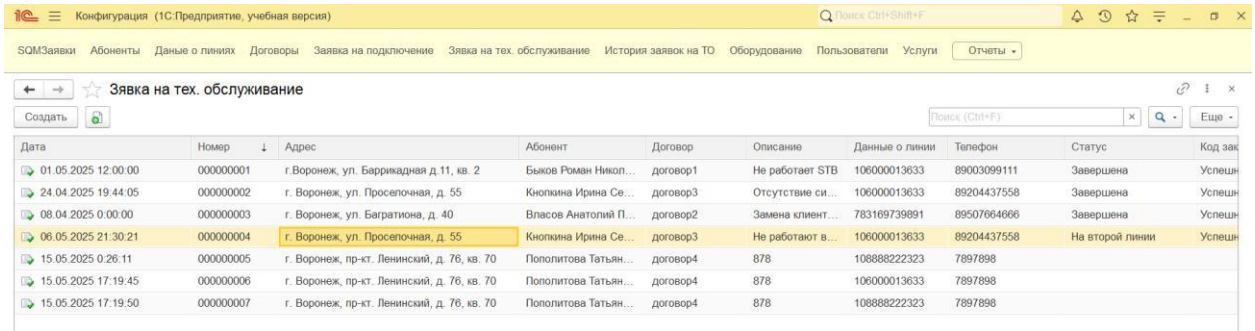


Рисунок 2 – Сценарий диалога

Конфигурация была выбрана базовая, так как проект требует написания логики с «нуля». Первыми были сделаны справочники, затем документы, регистры и отчеты [4, 5]. Результатной информацией являются документы: «Заявка на тех. обслуживание», «Заявка на подключение» и «SQM заявка».

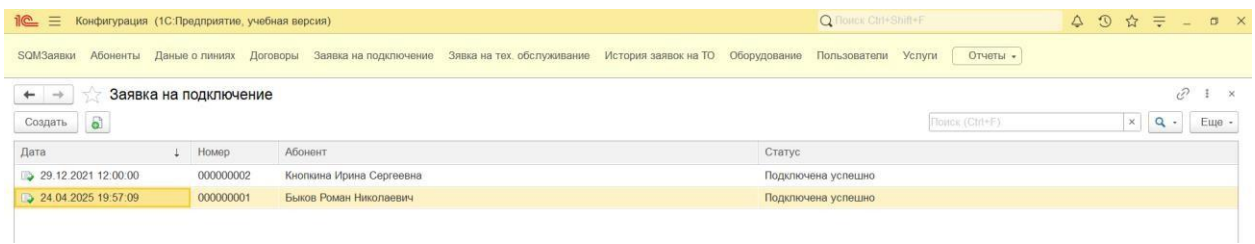
Документ «Заявка на тех. обслуживание» (рис. 3) содержит все необходимое, для решения любой ситуации, проблемы, которая может возникнуть у абонента с предоставлением ему услуг. Это номер наряда, дата закрытия заявки, адрес, ФИО абонента, его договор, описание проблемы, данные о линии, телефон, статус (на каком этапе тех. поддержки), код закрытия(успешно или нет), ответственный, является ли эта заявка SQM, комментарий к заявке [6].



Дата	Номер	Адрес	Абонент	Договор	Описание	Данные о линии	Телефон	Статус	Код зак
01.05.2025 12:00:00	000000001	г. Воронеж, ул. Баррикадная д.11, кв. 2	Быков Роман Никол...	договор1	Не работает STB	106000013633	89003099111	Завершена	Успешн
24.04.2025 19:44:05	000000002	г. Воронеж, ул. Проспечная, д. 55	Кнопина Ирина Се...	договор3	Отсутствие си...	106000013633	89204437558	Завершена	Успешн
08.04.2025 0:00:00	000000003	г. Воронеж, ул. Багратиона, д. 40	Власов Анатолий П...	договор2	Замена клиент...	783169739891	89507664666	Завершена	Успешн
06.05.2025 21:30:21	000000004	г. Воронеж, ул. Проспечная, д. 55	Кнопина Ирина Се...	договор3	Не работают в...	106000013633	89204437558	На второй линии	Успешн
15.05.2025 0:26:11	000000005	г. Воронеж, пр-кт. Ленинский, д. 76, кв. 70	Пополитова Татьян...	договор4	878	108888222323	7897898		
15.05.2025 17:19:45	000000006	г. Воронеж, пр-кт. Ленинский, д. 76, кв. 70	Пополитова Татьян...	договор4	878	106000013633	7897898		
15.05.2025 17:19:50	000000007	г. Воронеж, пр-кт. Ленинский, д. 76, кв. 70	Пополитова Татьян...	договор4	878	108888222323	7897898		

Рисунок 3 – Документ «Заявка на тех. обслуживание»

В документ «Заявка на подключение» (рис. 4) упоминается дата подключения, номер заявки, абонент, статус и услуга.



Дата	Номер	Абонент	Статус
29.12.2021 12:00:00	000000002	Кнопина Ирина Сергеевна	Подключена успешно
24.04.2025 19:57:09	000000001	Быков Роман Николаевич	Подключена успешно

Рисунок 4 – Документ «Заявка на подключение»

Смысл документа «SQMЗаявки» (рис. 5) заключается в том, что система сканируется всех абонентов, и если она наблюдает рост ошибок либо какую-нибудь другую нестабильное соединение, то создается наряд и прозванивается абонент, для подтверждение неисправности.

Конфигурация (1С-Предприятие, учебная версия)							
SQMЗаявки Абоненты Данные о линиях Договоры Заявка на подключение Заявка на тех. обслуживание История заявок на ТО Оборудование Пользователи Услуги Отчеты							
SQMЗаявки							
Создать Создать на основании							
Дата	Номер	Абонент	Договор	Описание	Номер телефона	Адрес	Статус
18.04.2025 0:00:00	000000001	Былов Роман Ни...	договор1	Не работает STB	89654593641	г. Воронеж, ул. Баррикадная, д.11, кв. 2	Передано на об...
14.05.2025 17:10:20	000000002	Пополитова Тат...	договор4	Низкая скорость	79789854545	г. Воронеж, пр-кт. Ленинский, д. 76, кв. 70	Закрыта (пробл...

Рисунок 5 – Документ «SQMЗаявки»

Отчет «Закрытые заявки за период» (рис. 6) формируется на основании заявок со статусом «Завершенная» в определенный период.

Конфигурация (1С-Предприятие, учебная версия)

Поиск Ctrl+Shift+F

🔔

🌟

☰

—

🗨

SQMЗаявки

Абоненты

Данные о линиях

Договоры

Заявка на подключение

Заявка на тех. обслуживание

История заявок на ТО

Оборудование

Пользователи

Услуги

Отчеты ▾

←

→

☆

Закрытые заявки за период

🗨

🗨

🗨

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

🔗

Рисунок 6 – Отчет «Закрытые заявки за период»

Отчет «История движения заявок на ТО» (рис. 7) был создан с целью отслеживания работы сотрудников, их проделанной работы и сроках выполнения наряда.

Конфигурация (1С-Предприятие, учебная версия)							
SQMЗаявки Абоненты Данные о линиях Договоры Заявка на подключение Заявка на тех. обслуживание История заявок на ТО Оборудование Пользователи Услуги Отчеты							
История движения заявок на ТО							
Сформировать Выбрать вариант... Настройки							
Заявка	Дата	Ответственный	Статус	Комментарий			
Заявка на тех. обслуживание 000000003 от 08.04.2025 0:00:00	24.04.2025 19:47:58	Колесникова Анна Витальевна	Зарегистрирована				
	17.05.2025 23:31:41	Золотова Ольга Васильевна	Завершена	Замена неисправного CPE			
Заявка на тех. обслуживание 000000002 от 24.04.2025 19:44:05	24.04.2025 19:44:05	Петров Антон Андреевич	Зарегистрирована				
	17.05.2025 23:31:30	Петров Антон Андреевич	Завершена	Постоянно горит красный индикатор LOS			
Заявка на тех. обслуживание 000000001 от 01.05.2025 12:00:00	21.04.2025 0:00:00	Михайлов Александр Вадимович	На третьей линии	Передана на ЗППП, так как требуется проверка линии			
	24.04.2025 19:08:56	Михайлов Александр Вадимович	Завершена				
	24.04.2025 19:09:20	Салунев Владимир Валерьевич	Завершена				
Заявка на тех. обслуживание 000000004 от 06.05.2025 21:30:21	06.05.2025 21:30:21						
Заявка на тех. обслуживание 000000005 от 15.05.2025 0:26:11	15.05.2025 0:26:11						
Заявка на тех. обслуживание 000000006 от 15.05.2025 17:19:45	15.05.2025 17:19:45						
Заявка на тех. обслуживание 000000007 от 15.05.2025 17:19:50	15.05.2025 17:19:50						

Рисунок 7 – Отчет «История движения заявок на ТО»

Для того, чтобы иметь возможность назначать и рассчитывать нагрузку на работника, был сформирован отчет «открытые заявки исполнителей» (рис. 8).

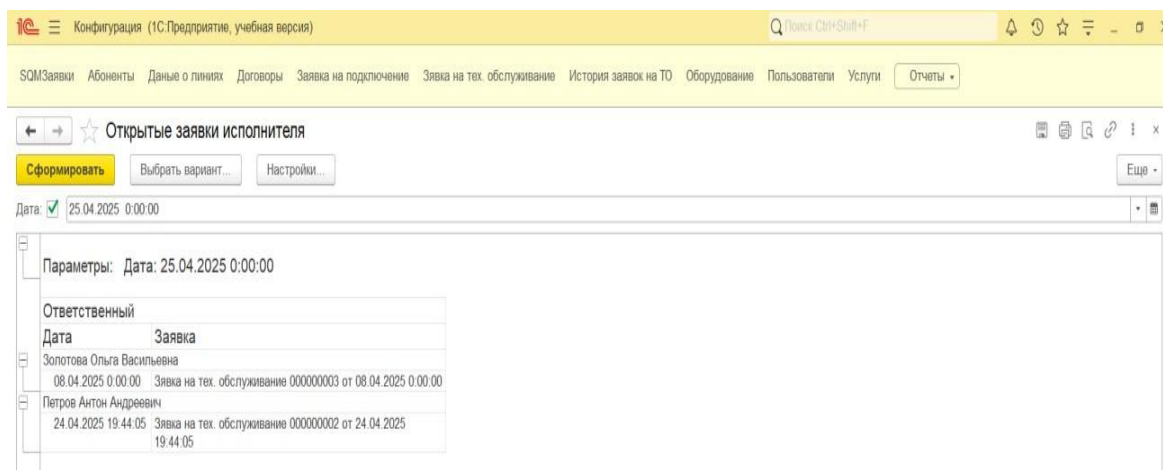


Рисунок 8 – Отчет «Открытые заявки исполнителей»

На основе проделанной работы можно сделать вывод, что разработанная система для учета заявок клиентов функционирует успешно.

Система 1С показала свою универсальность и пригодность для различных отраслей и типов организаций. Её конфигурация легко настраивается под индивидуальные нужды компании, что позволяет учесть специфику деятельности и обеспечивать оптимальное решение для конкретной задачи.

В целом, автоматизация процесса обработки заказов с помощью системы 1С является оптимальным решением для современных компаний, стремящихся повысить своё конкурентное преимущество и улучшить внутренние бизнес-процессы.

Список литературы

1. Черняк, Л. Г. 1С: Бухгалтерия 8. Практическое пособие разработчика. / Л. Г. Черняк, Е. Ю. Тихонова. - Москва. Издательство «1С-Паблишинг», 2022. - 456 с.
2. Орлова, Е. В. Опыт внедрения автоматизированной системы обработки заказов клиентов на предприятии розничной торговли. Наука и образование. - № 2, 2023. - С. 124-130.
3. Официальный сайт ООО «1С» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.1c.ru/>, свободный. (Дата обращения: 10.10.2025).
4. Гладких, Т.В. Механизм и конструктор языка запросов в программном обеспечении для учета ресурсов предприятия.: учеб. пособие / Т.В. Гладких, Л.А. Коробова, И.С. Толстова; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГУИТ» – Воронеж, 2024. – 72 с.

5. Гладких, Т.В. Программирование на платформе 1С: Предприятие.: учеб. пособие / Т.В. Гладких, Л.А. Коробова, И.С. Толстова; *М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГУИТ»* – Воронеж, 2024. – 84 с.

6. Гладких, Т.В. Автоматизации учета абонентов в ПАО «РОСТЕЛЕКОМ» / Т.В. Гладких, А.В. Михайлов // Материалы студенческой научной конференции за 2025 год под общ. ред. проф. О.С. Корнеевой; *М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГУИТ»* – Воронеж, 2025. – С. 66

References

1. Chernyak, L. G. 1C: Accounting 8. Developer's Practical Guide. / L. G. Chernyak, E. Yu. Tikhonova. - Moscow. 1C-Publishing House, 2022. - 456 p.

2. Orlova, E. V. Experience in Implementing an Automated Customer Order Processing System at a Retail Enterprise. Science and Education. - No. 2, 2023. - Pp. 124-130.

3. Official website of 1C LLC [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.1c.ru/>, free. (Date of access: 10.10.2025).

4. Gladkikh, T.V. Mechanism and Query Language Designer in Enterprise Resource Accounting Software: Textbook. Handbook / T.V. Gladkikh, L.A. Korobova, I.S. Tolstova; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Voronezh State University of Engineering and Technology – Voronezh, 2024. – 72 p.

5. Gladkikh, T.V. Programming on the 1C: Enterprise Platform: Textbook. manual / T.V. Gladkikh, L.A. Korobova, I.S. Tolstova; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, FGBOU VO "VSUIT" – Voronezh, 2024. – 84 p.

6. Gladkikh, T.V. Automation of Subscriber Accounting in Rostelecom PJSC / T.V. Gladkikh, A.V. Mikhailov // Materials of the 2025 Student Scientific Conference, edited by Prof. O.S. Korneeva; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, FGBOU VO "VSUIT" – Voronezh, 2025. – P. 66

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ О ВЛИЯНИИ ВЫБРОСОВ CO₂ В РЕГИОНАХ РФ

А.О. Карташов, Р.В. Тен

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

Аннотация. С развитием информационных технологий появляются новые методы использования графических средств для анализа данных. В том числе визуальное отображение зависимостей применяется для лесной отрасли в Российской Федерации. В данной работе рассмотрены основные методы для анализа данных и формирования выводов о рассматриваемых показателях.

Ключевые слова: столбчатая диаграмма, корреляционная матрица, пузырьковая диаграмма.

USE OF GRAPHICAL TOOLS TO DISPLAY INFORMATION ABOUT THE IMPACT OF CO₂ EMISSIONS IN RUSSIAN FEDERATION REGIONS

A.O. Kartashov, R.V. Ten

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

Abstract. With the development of information technology, new methods of using graphical tools for data analysis are emerging. In particular, the visual display of dependencies is being used for the forestry industry in the Russian Federation. This paper discusses the main methods for analyzing data and drawing conclusions about the indicators under consideration.

Keywords: bar chart, correlation matrix, bubble chart.

Введение

Количество информации, которое ежедневно потребляет современный человек, по разным исследованиям варьируется от 34 ГБ до 74 ГБ. Каждый год это число увеличивается на 5-10 процентов. Удержать в голове, запомнить и

проанализировать такой объем не представляется возможным. Именно поэтому необходимо создавать такие условия потребления информации, чтобы человек мог визуального проанализировать и запомнить содержимое. Одним из способов такого взаимодействия с пользователями являются графики. Они, в отличие от обычных записей, могут наглядно донести информацию без необходимости полного погружения в контекст рассматриваемой темы.

Общая статистика по регионам РФ

Одной из самых сложных тем для проведения анализа и формирования выводов является влияние лесного хозяйства на экологическую ситуацию в любой стране. Российская Федерация в этом смысле не является исключением, более того, учитывая площадь государства, а также размеры лесного покрова, понятно донести информацию до конечного потребителя становится еще сложнее.

На рисунке 1 мы видим график выбросов CO₂ в регионах РФ. Анализируя данный график, можно заметить, что Московская область лидирует с огромным отрывом (более чем на 10 миллион тонн в год) от Красноярского края, расположенного на втором месте. В остальных регионах итоговые значения отличаются, но разрыв не является столь значительным.

Для более четкой картины необходимо проанализировать график с выбросами CO₂ на душу населения, который представлен на рисунке 2. Как мы видим, расширив выборку, результаты являются совсем другими. Промышленно развитая Московская область с поправкой на количество населения в данном рейтинге находится на 18 месте. А Томская область наоборот сместилась в самое начало списка.

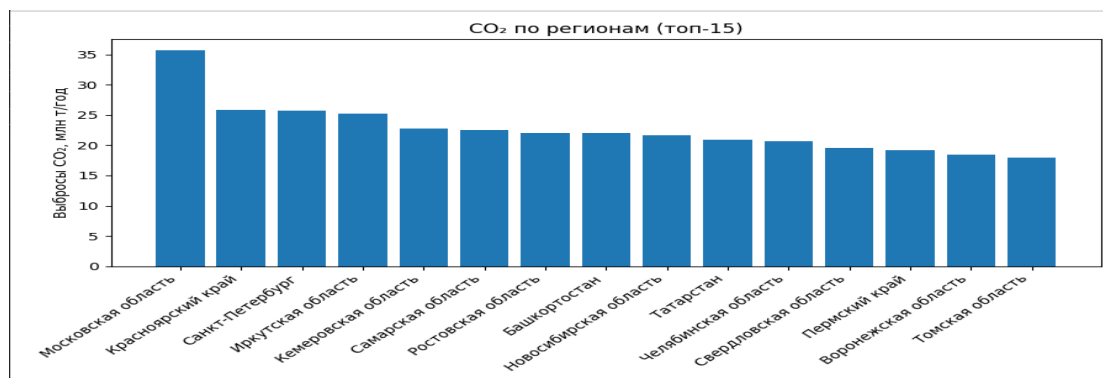


Рисунок 1 – Список выбросов CO₂ по регионам

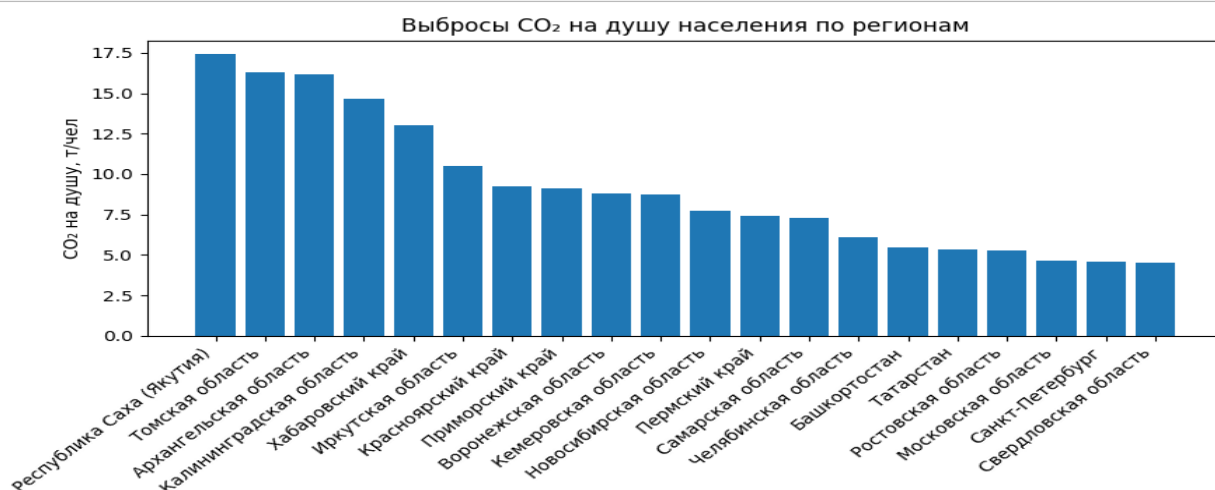


Рисунок 2 – Список выбросов CO₂ на душу населения по регионам

Использование продвинутой статистики

Использование дополнительных статистических параметров позволяет выводить более сложные графики в рамках рассматриваемой темы. На рисунке 3 представлен график связи лесистости и выбросов на душу населения. Исходя из данных, делаем вывод о том, что четкой линейной зависимости не представлено. Для некоторых регионов высокий процент лесистости не влияет на количество CO₂. То есть, ключевая роль остается за экономическими и промышленными показателями.

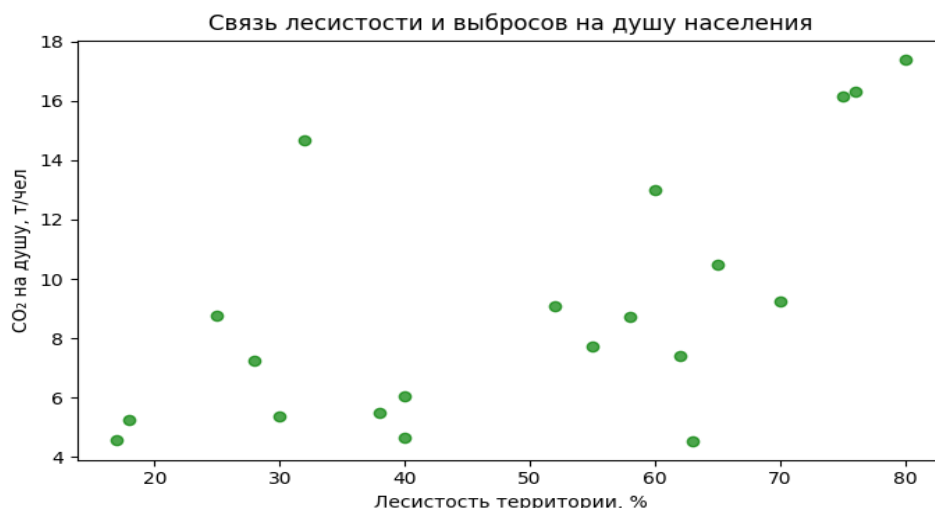


Рисунок 3 – Связь лесистости и выбросов на душу населения

Следующий график представляет собой корреляционную матрицу показателей, с разбросом показателей от -1 до +1. Показатель -1 свидетельствует о том, что рост одного показателя связан со снижением другого. Соответственно,

+1 говорит о том, что рост одного показателя связан с ростом другого. А значение 0 показывает, что связи нет.

Проанализировав данный график, мы понимаем, чем больше экономика региона (показатель ВРП), тем больше выбросов. Показатель корреляции в данном случае 0,91.

Высокий показатель корреляции также у показателей населения и экономики: 0,92.

Среди негативных показателей выделяется -0,83 и -0,68, которые обозначают: чем меньше население, тем больше выбросов приходится на каждого жителя, а также что богатые по ВПР регионы не всегда лидируют по выбросам CO₂.

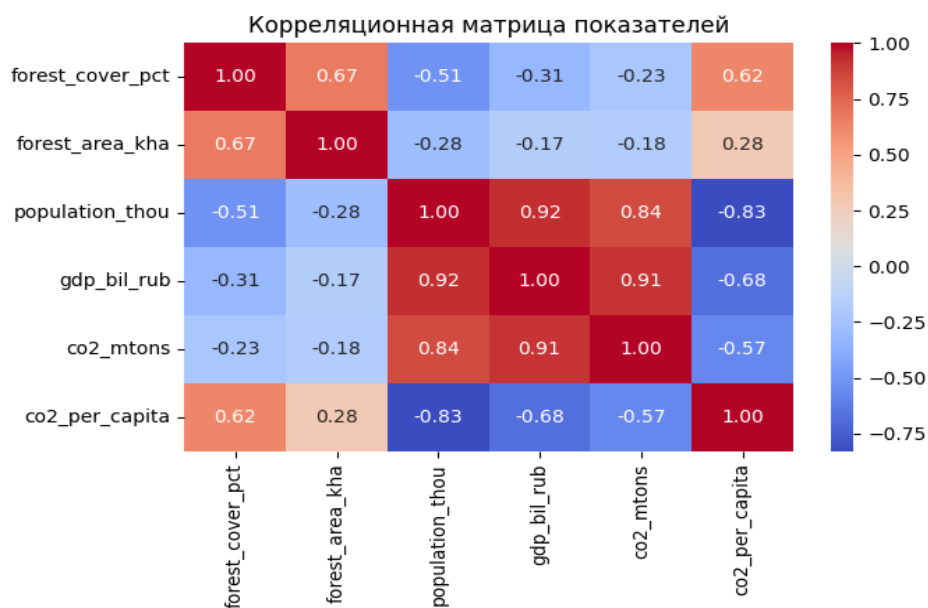


Рисунок 4 – Корреляционная матрица показателей

Последним графиком является пузырьковый, объединяющий несколько факторов. Среди данных факторов: ВРП, выбросы CO₂, численность населения и уровень лесистости. Также в правой части можно заметить шкалу показателей лесистости и разбивкой по цветам в каждой из них.

В целом, данный график подтверждает тенденции предыдущих. Главным фактором остается промышленные и экономические параметры регионов. А лесной покров является сглаживающим фактором при оценке экологической ситуации в регионах.

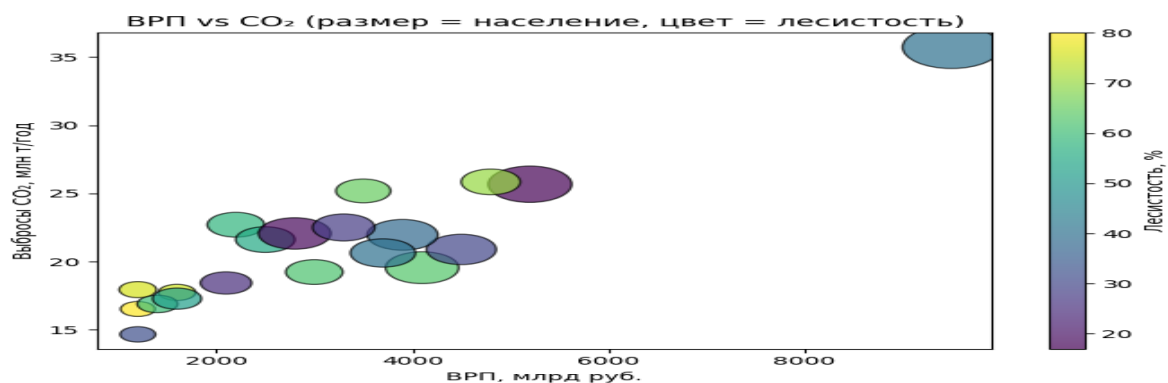


Рисунок 5 – Пузырьковый график

Список литературы

1. Левочкин, Р. Г. Взаимоотношение экологического и углеродного следа / Р. Г. Левочкин, А. В. Козачек // Мир науки без границ : Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных с международным участием, Тамбов, 26 апреля 2024 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. – С. 183-186.
2. Ilkevich, D. A. Artificial intelligence and remote sensing: a new approach to monitoring carbon footprint in cities / D. A. Ilkevich // , 28 ноября 2024 года, 2024. – Р. 59-64.
3. Завьялова, Е. Б. Сравнительный анализ эффективности механизмов углеродного рынка и углеродного налога для реализации целей общемирового снижения углеродного следа / Е. Б. Завьялова, Ц. Ли // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. – 2023. – Т. 31, № 4. – С. 740-759. – DOI 10.22363/2313-2329-2023-31-4-740-759.
4. Романцева, Ю. Н. Цифровые решения для расчета углеродного следа в сельском хозяйстве / Ю. Н. Романцева, А. М. Бодур // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 15, № 11(152). – С. 150-159. – DOI 10.36871/ek.ur.p.r.2024.11.15.021.
5. Неминущая, С. А. Инновационные способы сокращения углеродного следа в мировой экономике / С. А. Неминущая, Е. В. Моисеева, Н. А. Азарова // Трансформация экономических систем: низкоуглеродная экономика и климатическая политика : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 15 апреля 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 68-73. – DOI 10.58168/LCECP2022_68-73.

References

1. Levochkin, R. G. Relationship of the ecological and carbon footprint / R. G. Levochkin, A. V. Kozachek // The world of science without borders : Materials of the XI All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation, Tambov, April 26, 2024. Tambov: Tambov State Technical University, 2024. pp. 183-186.
2. Ilkevich, D. A. Artificial intelligence and remote sensing: a new approach to monitoring carbon footprint in cities / D. A. Ilkevich // , November 28, 2024, 2024. – P. 59-64.
3. Zavyalova, E. B. Comparative Analysis of the effectiveness of carbon market and carbon tax mechanisms for achieving the goals of global carbon footprint reduction / E. B. Zavyalova, C. Li // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Economics. – 2023. – Vol. 31, No. 4. – Pp. 740-759. – DOI 10.22363/2313-2329-2023-31-4-740-759.
4. Romantseva, Yu. N. Digital solutions for calculating the carbon footprint in agriculture / Yu. N. Romantseva, A.M. Bodur // Economics and management: problems, solutions. – 2024. – Vol. 15, No. 11(152). – pp. 150-159. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.11.15.021.
5. Neminushchaya, S. A. Innovative ways to reduce the carbon footprint in the global economy / S. A. Neminushchaya, E. V. Moiseeva, N. A. Azarova // Transformation of economic systems: low-carbon economics and climate policy : proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 15, 2022. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2022. pp. 68-73. DOI 10.58168/LCECP2022_68-73.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

А.О. Карташов, О.В. Оксюта, А.Ю. Павлов

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

Аннотация. Работа по созданию эффективных моделей прогнозирования и аналитики связана с обработкой большого объема информации, называемого Big Data. Для эффективного взаимодействия с ними необходимо четко определить допустимые математические модели, корректно способные обработать такой объем данных и выбрать наиболее подходящую. Выбор правильной модели позволит в дальнейшем модифицировать программу без дополнительных затруднений.

Ключевые слова: математические модели, прогнозирование, большие данные.

CAUSES OF DATA LOSS, TREATMENT AND PREVENTION METHODS

A.O. Kartashov, O.V. Oksyuta, A.Y. Pavlov

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

Abstract. The work on creating effective forecasting and analytics models involves processing a large amount of information, called Big Data. For effective interaction with them, it is necessary to clearly define acceptable mathematical models that are correctly able to process such a volume of data and select the most appropriate one. Choosing the right model will allow you to further modify the program without additional difficulties.

Keywords: mathematical models, forecasting, big data.

В условиях стремительно меняющегося рынка и цифровой экономики умение адаптироваться становится неотъемлемой частью деятельности компа-

ний во всех сферах жизни человека. Чем раньше изменения в экономической и социальной сферах будут замечены, тем больше времени на реагирование и принятие взвешенных решений будет у ответственных лиц. Соответственно, повышается вероятность успешной интеграции в бизнес-процессы новых систем и алгоритмов. Таким образом, использование методов прогнозирования является ключевым параметром для тех компаний, кто хочет успешно и наиболее безболезненно сталкиваться с различными трудностями и кризисами.

Использование больших данных для прогнозирования

Основой любой модели прогнозирования, будь то собственно созданные или наиболее популярные, является набор данных, которые эти модели будут анализировать, или на которых будут обучаться в дальнейшем. Если изначально массив с информацией неполный, некорректный или подвержен внешнему вмешательству, получение рабочей и эффективной модели становится крайне сложной, а в некоторых случаях невозможной задачей. Объединяющим термином для таких массивов является Big Data или Большие данные. Главным критерием Big Data является использование в своих характеристиках всеобъемлющей информации об объекте исследования, это позволяет разрабатывать сложные и адаптивные функции для прогнозирования в информационных системах. К примеру, погодные условия могут стать ключевым фактором для прогнозирования спроса на услуги моек самообслуживания в крупных городах. А информация о праздничных днях помогает определить всплески посещаемости в торговых центрах, соответственно, повышение продаж для магазинов, бутиков и лавок, расположенных в них.

Влияние прогнозов на бизнес деятельность

Влияние прогнозов в процессе ведения бизнеса сложно переоценить. Они позволяют формировать маркетинговые стратегии, исходя из потребностей компании и заинтересованности потребителей, заранее определять бюджеты на логистику, оплату труда и кредитные операции. Также понимание спроса может помочь при определении нагрузки на производства. Это особенно актуально для технически сложных товаров, выпуск которых может занимать значительное количество времени и ресурсов.

Основными методами для использования прогнозов по отраслям являются:

1. Для финансовой сферы – Регрессия и временные ряды. Они позволяют работать с данными о доходах и расходах. Исходя из этой информации, делаются выводы о прибыли или убытки компании за рассматриваемый промежуток времени.

2. Работа с клиентами – Машинное обучение, которое позволяет выработать алгоритм для системы вопрос-ответ в чат-ботах, позволяя экономить время и ресурсы работников.

3. Прогнозирование кризисов и рисков – Стохастические модели. Они помогают находить потенциально опасные тенденции на рынке, связанные с падением курса валют, акций или спроса. Соответственно, предоставляя возможность для корректировки курса организации.

4. Анализ эффективности маркетинга – Логистическая регрессия. Позволяет бизнесу работать над оптимизацией маркетинга, поиска оптимальных методов для продвижения и рекламы своего товара или услуги.

5. Реализация запасов – ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). Позволяет анализировать нестандартные временные ряды и приводить их к стационарному виду. Такой метод помогает предсказывать изменения в количестве товаров.

Математические модели

Для понимания работы методов прогнозирования необходимо рассмотреть наиболее популярные математические модели, которые используются в них.

1. Одной из самых простых, но при этом базовых моделей является линейная регрессия. Она имеет вид: $Y = a + bX + \varepsilon$,

где Y – это показатель, который необходимо спрогнозировать;

X – фактор;

a – свободный коэффициент;

b – коэффициент регрессии, демонстрирует взаимосвязь показателей Y и X ;

ε – случайная ошибка, которая показывает разницу между реальным значением и рассчитанным прогнозом.

Базово данная модель имеет вид $y = ax + b$. Однако использование случайной ошибки позволяет отойти от вида идеальной прямой и приблизить модель к реальным данным.

2. Модель ARIMA применяется в случаях, если в данных используется сезонность. Данная модель имеет вид: $Y_t = \phi Y_{t-1} + \varepsilon_t$,

где ϕ – коэффициент авторегрессии;

ε_t – случайная ошибка, которая показывает разницу между реальным значением и рассчитанным прогнозом.

При использовании данной модели необходимо учитывать некоторые ограничения. Она работает, только если временной ряд стационарный, а также когда данные очищены и подобраны корректны. К тому же, модель не учитывает влияние внешних факторов и плохо адаптируется к резким изменениям в выборке.

3. Логистическая регрессия может применяться для предсказания поведения клиентов, сотрудников, заказчиков и так далее. Иными словами, логистическая регрессия используется для составления прогноза о наступлении события. Данная модель имеет вид:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a+bX)}}$$

где P – вероятность того, что событие произойдет;

a – свободный коэффициент;

bX – коэффициенты при факторах и значение факторов;

e – экспонента.

В результате значение P варьируется от 0 до 1. Если $P > 0.5$, то событие может наступить, в обратном случае – нет.

4. Экспоненциальное сглаживание можно использовать в тех случаях, когда существует необходимость запоминать прошлые данные. То есть, в данном методе больший вес придается последним (новым) наблюдениям, относительно старых. Для того чтобы добавить или убавить значимость данных, используется коэффициент сглаживания. Например, в случае когда $\alpha = 1$ модель ориентируется на новые данные, а в обратном – на старые.

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t$$

где F_{t+1} – результат прогноза для следующего периода;

Y_t – значение в текущем периоде;

F_t – прогноз текущего периода;

α – коэффициент сглаживания.

Исходя из всего этого, можно сделать вывод, что правильно подобранная математическая модель играет ключевую роль для составления прогнозов. Специфика той или иной сферы обязательно должна учитываться, так как изначальный массив данных должен претерпевать изменения в зависимости от того, какие задачи ставятся перед моделями. Например, линейная регрессия не подойдет в случаях, когда необходимо выяснить вероятность наступления события. А логистическая регрессия не может использоваться для учета сезонности.

В наши дни корректная работы с прогнозами становится ключом к высокой конкурентоспособности бизнеса, даже в тех случаях, когда компания не обладает большими финансовыми и человеческими ресурсами.

Список литературы

1. Поляков, Я. А. Использование различных подходов резервного копирования баз данных для предотвращения потери данных / Я. А. Поляков, Е. Д. Алехина // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе : Материалы Всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах, Калуга, 14–16 ноября 2023 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – С. 60-62.
2. Фридман, О. Д. Предотвращение риска разрушения и потери ценных данных в банковской сфере / О. Д. Фридман, Д. А. Трунина, Г. О. Чегуров // Научный электронный журнал Меридиан. – 2019. – № 16(34). – С. 42-44.
3. Танкаян, А. И. Информационная безопасность персонального компьютера и современные виды угроз потери данных / А. И. Танкаян, Д. Н. Савинская // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития : Сборник материалов XI международного студенческого форума, Краснодар, 23–27 июля 2018 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – С. 114-116.
4. Поляков, А. А. Скрытые риски массовых обновлений данных: как избежать потери и утечки информации / А. А. Поляков // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9, № 12(50). – С. 12-15.
5. Алешин, А. Ю. Эффективные способы борьбы с потерей корпоративных данных / А. Ю. Алешин // Защита информации: IT, правовые и экономические аспекты : Сборник научных трудов Межвузовской студенческой научно-

практической конференции, Москва, 16–17 марта 2023 года. – Москва МИРЭА - Российский технологический университет, 2023. – С. 84-87.

References

1. Polyakov, Ya. A. The use of various database backup approaches to prevent data loss / Ya. A. Polyakov, E. D. Alyokhina // High-tech technologies in instrumentation and mechanical engineering and the development of innovation in higher education institutions : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference. In 2 volumes, Kaluga, November 14-16, 2023. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2024, pp. 60-62.
2. Friedman, O. D. Preventing the risk of destruction and loss of valuable data in the banking sector / O. D. Friedman, D. A. Trunina, G. O. Chegurov // Scientific electronic journal Meridian. – 2019. – № 16(34). – Pp. 42-44.
3. Tankayan, A. I. Information security of a personal computer and modern types of data loss threats / A. I. Tankayan, D. N. Savinskaya // Information Society: current state and development prospects : Collection of materials of the XI International Student Forum, Krasnodar, July 23-27, 2018. Krasnodar: I.T. Trublin Kuban State Agrarian University, 2018, pp. 114-116.
4. Polyakov, A. A. Hidden risks of massive data updates: how to avoid information loss and leakage / A. A. Polyakov // International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. – 2024. – Vol. 9, No. 12(50). – pp. 12-15.
5. Alyoshin, A. Y. Effective ways to combat corporate data loss / A. Y. Alyoshin // Information protection: IT, legal and economic aspects : Proceedings of the Interuniversity Student Scientific and Practical Conference, Moscow, March 16-17 In 2023. – Moscow: MIREA

ОБЗОР МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДАННОЙ ОБЛАСТИ

А.О. Карташов, О.В. Оксюта, И.С. Кущева

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

Аннотация. Визуализация как метод представления информации играет ключевую роль в современном мире, где на принятие решений остается все меньше времени. Часто у людей нет ресурсов, в полной мере погрузиться в предметную область, чтобы проанализировать и прийти к взвешенному выводу. В таких случаях именно методы визуализации позволяют хотя бы частично компенсировать эти проблемы за счет своей наглядности и адаптивности.

Ключевые слова: визуализация, принятие решений, анализ данных, графические методы.

REVIEW OF VISUALIZATION METHODS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THIS FIELD

A.O. Kartashov, O.V. Oksyuta, I.S. Kushcheva

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

Abstract. Visualization as a method of presenting information plays a key role in today's world, where there is less and less time to make decisions. Often, people do not have the resources to fully immerse themselves in the subject area in order to analyze and come to a well-informed conclusion. In such cases, visualization methods can at least partially compensate for these challenges due to their visual appeal and adaptability.

Keywords: visualization, decision-making, data analysis, and graphical methods.

Введение

Принятие различных решений – это процесс, который присутствует на любом из этапов создания, управления или изменения деятельности компании. Для успешного выполнения этих задач, необходимо иметь точные и четкие данные о той сфере деятельности, с которым взаимодействует бизнес. Однако, зачастую, поток данных настолько велик, что невозможно вручную обработать такой массив данных и получить достоверные сведения. Одним из способов обработки и анализа данных является визуализация.

Использование визуализации для анализа данных

Процесс визуализации включает себя преобразования массива числовых или текстовых значений, получаемых в процессе работы с данными, в наглядные графические формы, которые могут быть легко проанализированы пользователями. Современные бизнес-процессы невозможно представить без различных графиков, карт или диаграмм, так как они, в том числе, позволяют выводить в понятной форме информацию, которая состоит из таблиц с большим количеством строк и столбцов. Такая информация является многомерной, т.е. без графических инструментов для отображения не может быть представлена в доступной форме.

Для того, чтобы сделать правильный выбор в пользу того или способа визуализации, необходимо понимать, какие инструменты используются в современных бизнес-процессах. Самыми популярными из них являются: столбчатые диаграммы, круговые диаграммы, гистограммы, тепловые карты, воронки, коробчатые диаграммы, географические карты, диаграммы Ганта, линейные графики.

Каждый способ визуализации имеет свои преимущества и недостатки. Так, использование тепловых карт или воронок может быть необоснованно, если изначальный набор данных является небольшим.

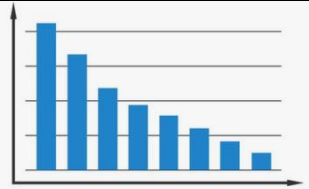
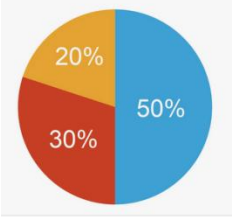
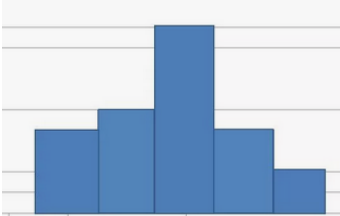
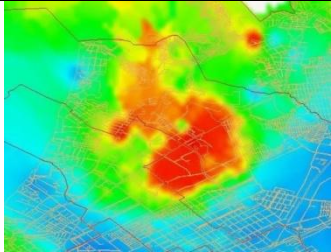
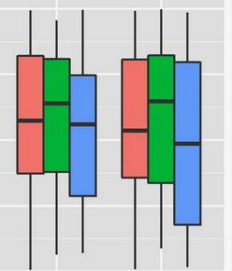
В таблице 1 представлены наиболее популярные графические методы с примерной демонстрацией.

Перспективы развития визуализации данных

Количество информации, которое приходится потреблять и обрабатывать людям и компаниям в любой сфере бизнеса ежегодно растет, и это напрямую связано с развитием технологий. За последние десять лет многие привычные вещи сильно поменялись, в том числе за счет активной интеграции сторонних

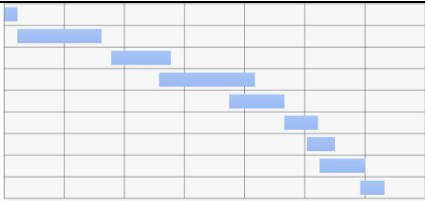
продуктов. Явными примерами могут служить развитие искусственного интеллекта, интернета вещей и облачных технологий.

Таблица 1 – Описание графических методов

Тип	Описание	Пример
Столбчатые графики	Данные отображаются как вертикальные столбцы	
Круговые диаграммы	Данные отображаются как доли в виде секторов круга	
Гистограмма	Данные отображаются как распределение значений по интервалам	
Тепловая карта	Данные отображаются через цветовую шкалу для указания частоты	
Воронка	Данные отображаются как процесс уменьшения значений	
Коробчатая диаграмма	Данные отображаются как распределение через квартили, медиану и выбросы	

Географическая карта	Данные отображаются на картах с указанием статистических показателей	

Окончание таблицы 1

Диаграмма Ганта	Данные отображаются через временные рамки в виде горизонтальных полос	
Линейный график	Данные отображаются с помощью линий, соединяющих точки	
Древовидная диаграмма	Данные отображаются в виде вложенных прямоугольников	

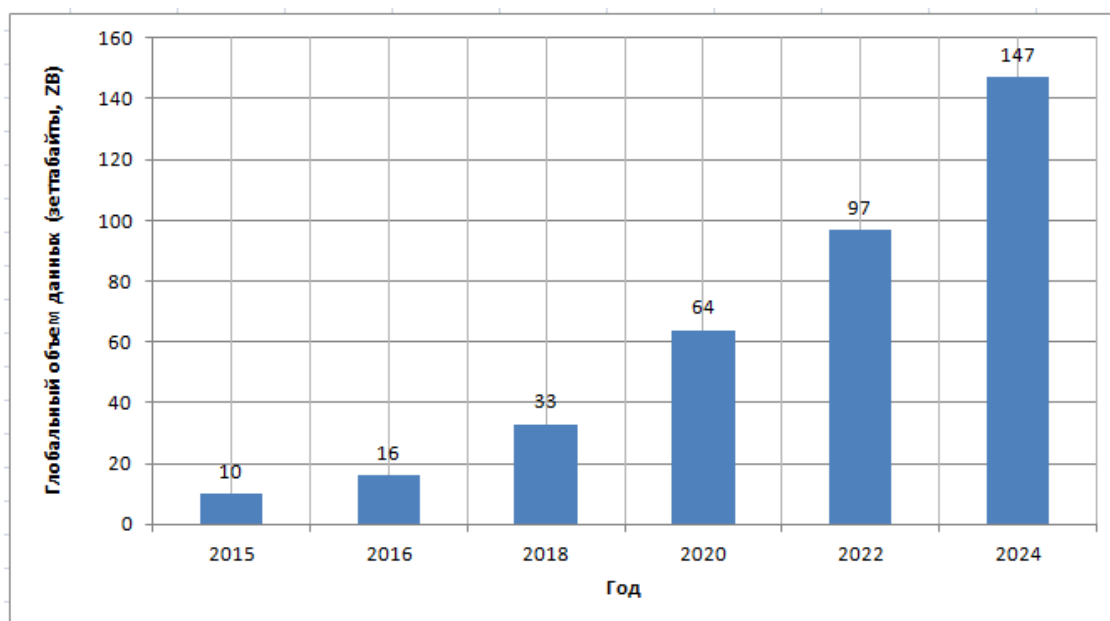


Рисунок 1 – График увеличения количества данных по годам

С учетом такого бурного роста, очевидно, что вручную создавать визуализацию под растущее с каждым годом количество информации крайне

сложно. Традиционные столбчатые или линейные графики уже не могут вместить в себя все используемые в бизнесе переменные. Поэтому одним из главных инструментов является использование для этих целей ИИ-платформ, например, Tableau или Power BI, которые позволяют на основе предложенного массива данных создавать тепловые карты и воронки.

Примерный объем данных на 2015 год составлял 10 зеттабайтов, в 2020 уже 64.2, а в 2024 вырос до 147 зеттабайтов. Чем сильнее компания связана с информационными технологиями, тем с большим объемом информации ей приходится связываться ежедневно. Однако даже компании, которые на первый взгляд не взаимодействуют с данной отраслью напрямую, все равно вынуждены подстраиваться под ежегодное увеличение количества данных.

Таблица 2 – Сравнение методов отображения данных

	Традиционные графики	Современные графики
Восприятие информации	Отсутствие возможности интерактивного взаимодействия.	Возможность интеграции дополнительных инструментов для просмотра, анализа и сравнения итоговых показателей.
Возможность расширения	Незначительные косметические преобразования.	Улучшения и обновления могут выпускаться на протяжении долгого времени.
Объем изначальных данных	Невозможность использования при множестве параметров.	Безграничное количество критериев, возможность использования нескольких показателей одновременно.
Время создания	Быстрое создание на основе вводимых данных с использованием встроенных инструментов.	Для создания сложных диаграмм понадобится большое количество времени, а также дополнительные навыки и компетенции.

В отличие от ручного создания графиков, искусственный интеллект позволяет фильтровать, сортировать и анализировать исходные наборы на предмет выбросов, пропусков или неоднозначных значений. Искусственный интеллект также может использоваться как генератор дополнительных пояснений к представленным графикам, что делает их еще более доступными для широкого круга пользователей. Стоит учитывать, что графики, карты и диаграммы могут обрабатывать и выводить не только существующую информацию, но и использоваться для создания прогнозов, показывая их в доступном виде.

Таким образом, бизнес может быстрее выявлять закономерности, ключевые особенности, тем самым адаптируясь к изменениям на рынке, которые возможно увидеть с помощью инструментов визуализации.

Практическая значимость исследования заключается в анализе существующих методов визуализации данных с целью выявления наиболее наглядных, адаптивных и подходящих для использования в рамках разрабатываемой информационной системы. В ходе исследования сделаны выводы о том, что существующие бизнес процессы не могут существовать без использования данных инструментов.

Список литературы

1. Савочкина, Д. С. Исследование технологий визуализации информации и данных и разработка прототипа модуля визуализации многомерных данных в системах аналитики / Д. С. Савочкина // Международная научно-практическая конференция по компьютерной и информационной безопасности (INFSEC 2023) : сборник статей, Екатеринбург, 30 июня 2023 года / ООО «Институт цифровой экономики и права». – Екатеринбург: Общество с ограниченной ответственностью "Институт Цифровой Экономики и Права", 2023. – С. 108-109.
2. Дудорова, А. В. Применение Bootstrap метода в анализе поведенческих данных и метод визуализации данных выбора из трех объектов / А. В. Дудорова, Д. А. Подгрудков, Е. П. Крученкова // Зоологический журнал. – 2023. – Т. 102, № 3. – С. 349-353. – DOI 10.31857/S0044513423020046.
3. Аксенов, М. С. Краткие сведения о power Bi: загрузка данных, визуализация данных / М. С. Аксенов, Р. Е. Солдатов // Педагогическое образование на Алтае. – 2017. – № 2. – С. 7-13.
4. Гамаюнова, О. А. Анализ данных и BI-системы в маркетинге: визуализация и интерпретация данных для принятия решений / О. А. Гамаюнова // Достижения науки и технологий-ДНиТ-11-2023 : Сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции, Красноярск, 27–28 февраля 2023 года. Том Выпуск 7. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2023. – С. 364-368.

References

1. Savochkina, D. S. Research of information and data visualization technologies and development of a prototype module for visualization of multidimensional data in analytics systems / D. S. Savochkina // International Scientific and Practical Conference on Computer and Information Security (INFSEC 2023) : collection of articles, Yekaterinburg, June 30, 2023 / Institute of Digital Economics and Law, LLC. Yekaterinburg: Limited Liability Company "Institute of Digital Economics and Law", 2023, pp. 108-109.
2. Dudorova, A.V. Application of the Bootstrap method in the analysis of behavioral data and a method for visualizing data from a choice of three objects / A.V. Dudorova, D. A. Podgrudkov, E. P. Kruchenkova // Zoological Journal. – 2023. – Vol. 102, No. 3. – pp. 349-353. – DOI 10.31857/S0044513423020046.
3. Aksenov, M. S. Brief information about power Bi: data loading, data visualization / M. S. Aksenov, R. E. Soldatov // Pedagogical education in Altai. - 2017. – No. 2. – pp. 7-13.
4. Gamayunova O. A. Data analysis and BI systems in marketing: visualization and interpretation of data for decision-making / O. A. Gamayunova // Achievements of Science and technology-DNiT-11-2023 : Collection of scientific articles based on the materials of the II All-Russian Scientific Conference, Krasnoyarsk, February 27-28, 2023. Volume 7. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Regional House of Science and Technology of the Russian Union of Scientific and Engineering Public Associations, Krasnoyarsk, 2023, pp. 364-368.

ПОДГОТОВКА ДАННЫХ И ВЫБОР МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

А.О. Карташов, О.В. Оксюта, И.С. Кущева

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

Аннотация. Использование методов прогнозирования позволяет компаниям и людям, отвечающим за выбор стратегии развития, приспосабливаться к изменениям до момента их наступления. Способность предвидеть перемены и предугадать направление развития позволяет принимать четкие и решительные действия в управлении предприятиями. Именно поэтому важность понимания того, какие методы прогнозирования существуют и как они работают, невозможно переоценить.

Ключевые слова: анализ данных, прогнозирование, данные, регрессионный анализ, Байесовские модели.

DATA PREPARATION AND SELECTION OF A FORECASTING METHOD

A.O. Kartashov, O.V. Oksyuta, I.S. Kushcheva

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

Abstract. The use of forecasting methods allows companies and individuals responsible for choosing development strategies to adapt to changes before they occur. The ability to anticipate changes and predict future directions enables businesses to take clear and decisive actions. Therefore, it is crucial to understand the different forecasting methods available and how they work.

Keywords: data analysis, forecasting, data, regression analysis, Bayesian models.

Введение

Анализ данных – это процесс, позволяющий взаимодействовать с массивом данных для нахождения необходимой информации. Получаемая информация может быть как простой, например, вывод максимального, минимального или среднего значения из набора данных. Так и сложной – создание математических формул для вычисления значений с несколькими независимыми переменными и формирование системы из них. Примером такой системы можно отнести расчет прибыли с учетом различных факторов. Такими факторами могут быть: учет сезонности, стоимости доставки, потерь от брака и так далее.

Следующим уровнем анализа является созданием моделей, которые способны прогнозировать данные на основе имеющейся информации. Такие модели являются незаменимыми в условиях постоянно меняющихся условий рынка, так как способны предсказать эти изменения до момента, когда они наступили.

Процесс подготовки данных для прогнозирования

Невозможно начинать создавать модель прогнозирования без предварительной обработки данных. Это связано с тем, что “новые данные”, которые мы получим в результате прогнозирования, являются результатом многоступенчатой обработки уже имеющейся у нас информации. Поэтому, если изначальный набор будет некорректным, то и на выходе мы получим неверные прогнозы, на которые нельзя будет полагаться в дальнейшем.

Чтобы избежать этого, необходимо ответственно подходить к сбору данных. Если сбор происходит самостоятельно, необходимо определить четкие критерии для отбора и внесения данных в итоговую выборку. Если же данные берутся из открытых источников, необходимо учитывать, что данные, хранящиеся там, могут быть некорректны или неадекватны, поэтому необходимо продумать методы и алгоритмы для дополнительной обработки.

Следующим шагом должна идти очистка данных, которая включает в себя: устранение пропусков (или замена их на условные значения), нахождение выбросов, аномалий и любых “сломанных” данных. В случае нахождения значений, которые в дальнейшем могут негативно повлиять на итоговый результат прогнозирования, необходимо предпринять меры для исправления изначальной выборки. Такими действиями могут быть:

1. Удаление неверных данных.
2. Исправление ошибок.

3. Игнорирование аномалий.

Языки программирования и СУБД, где хранятся данные, предоставляют большой арсенал инструментов, которые можно использовать для данных целей. Так функция `df.dropna` на языке Python позволяет очищать данные, удаляя пропуски, функция `DISTINCT` в SQL удаляет дубликаты, а `SELECT` позволяет просматривать все данные, чтобы оценить, насколько данные готовы для обработки.

На рисунках 1 и 2 представлен набор данных в блокноте и csv формате соответственно. Данные в примерах отсортированы и отфильтрованы таким образом, чтобы дальнейшее взаимодействие с ними позволило создать информационную модель для прогнозирования.

ID заказа	Срок изготовления	Дата	Год	Месяц	День недели	Категория	Товар	Цвет	Размер	Пол	Возрастная группа	Сегмент клиента	Тип ткани	Сложность пошива	Цена	Себестоимость	Количество	Процент брака							
Срок изготовления																									
Шерстяная группа																									
000-2025-001	02.01.2025	2025	1	Четверг	Пальто	Пальто зимнее с мехом	Черное	-6	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть+мех	3	18000	12000	1	0.013	5	Да	Курьер СДЭК	500				
000-2025-002	03.01.2025	2025	1	Пятница	Детская	Куртка зимняя	Синяя	128	Детский	10-12 лет	Дети	Полыэстер+синтепон	2	4500	3000	2	0.006	3	Да	Почта России	400	9			
000-2025-003	04.01.2025	2025	1	Суббота	Рубашка	Рубашка классическая	Белая	-15	Женский	25-34	Взрослые	Хлопок	2	3500	2300	3	0.004	2	Нет	Не требуется	0	9			
000-2025-004	05.01.2025	2025	1	Воскресенье	Головные уборы	Валка вязаная	Серая	—	Женский	35-44	Взрослые	Шерсть	1	1800	1200	5	0.003	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9			
000-2025-005	06.01.2025	2025	1	Понедельник	Детская	Варежки	Красные	—	Детский	3-6 лет	Дети	Шерсть+флис	1	800	500	8	0.002	1	Да	Почта России	300	9	ВКонтакте		
000-2025-006	07.01.2025	2025	1	Вторник	Пальто	Пальто с лососем	Коричневое	XL	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть	3	16500	11000	1	0.012	5	Да	Курьер СДЭК	700	9			
000-2025-007	08.01.2025	2025	1	Среда	Платья	Платье трикотажное	Черное	8	Женский	25-34	Взрослые	Трикотаж	2	4200	2800	4	0.005	3	Нет	Не требуется	0	9			
000-2025-008	09.01.2025	2025	1	Четверг	Брюки	Брюки классические	Черные	XL	Женский	35-44	Взрослые	Шерсть	2	4800	3200	3	0.004	2	Да	Почта России	300	9			
000-2025-009	10.01.2025	2025	1	Пятница	Детская	Комбинезон зимний	Синий	116	Детский	7-9 лет	Дети	Полыэстер+синтепон	2	5200	3400	2	0.003	3	Да	Курьер СДЭК	700	9			
000-2025-010	11.01.2025	2025	1	Суббота	Головные уборы	Ушанка	Черная	—	Женский	45+	Старшее поколение	Мех/кожа	2	3200	2100	4	0.006	2	Да	Яндекс.Маркет	400	9			
000-2025-011	12.01.2025	2025	1	Воскресенье	Пальто	Пальто хаки	Зеленый	122	Детский	7-9 лет	Дети	Шерсть	2	2800	1800	3	0.004	2	Да	Почта России	400	9	ВКонтакте		
000-2025-012	13.01.2025	2025	1	Понедельник	Детская	Свитер	Зеленый	-7	Женский	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6	0.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9			
000-2025-013	14.01.2025	2025	1	Вторник	Рубашка	Рубашка в клетку	Красная	L	Женский	25-34	Взрослые	Фланель	1	3100	2000	5	0.003	1	Нет	Не требуется	0	9			
000-2025-014	15.01.2025	2025	1	Среда	Аксессуары	Ремешок	Черный	—	Унисекс	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6	0.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9			
000-2025-015	16.01.2025	2025	1	Четверг	Пальто	Пальто с длинным рукавом	Синее	5	Женский	18-24	Молодые	Трикотаж	2	4500	3000	4	0.005	3	Да	Курьер СДЭК	500	9			
000-2025-016	17.01.2025	2025	1	Пятница	Брюки	Брюки утепленные	Черные	M	Женский	25-44	Взрослые	Шерсть+флис	2	4900	3200	3	0.004	2	Да	Почта России	400	9			
000-2025-017	18.01.2025	2025	1	Суббота	Детская	Варежки	Красные	—	Детский	3-6 лет	Дети	Шерсть	1	900	600	7	0.002	1	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
000-2025-018	19.01.2025	2025	1	Воскресенье	Головные уборы	Валка фетровая	Черная	—	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть	2	3800	2500	2	0.006	2	Да	Курьер СДЭК	700	9			
000-2025-019	20.01.2025	2025	1	Понедельник	Пальто	Пальто с кашемиром	Синий	XL	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть+синтепон	3	17000	11000	1	0.011	5	Да	Почта России	400	9			
000-2025-020	21.01.2025	2025	1	Вторник	Детская	Костюм спортивный	Синий	116	Детский	7-9 лет	Дети	Полыэстер	2	3900	2600	3	0.004	2	Да	Курьер СДЭК	700	9			
000-2025-021	22.01.2025	2025	1	Среда	Рубашка	Рубашка с длинным рукавом	Белая	L	Женский	25-34	Взрослые	Хлопок	2	3400	2200	4	0.003	2	Нет	Не требуется	0	9			

Рисунок 1 – Данные о заказ в блокноте

ID заказа		Дата заказа	Год	Месяц	День недели	Категория товара	Цвет	Размер	Пол	Возрастная группа	Тип ткани	Сложность пошива	Цена	Себестоимость	Количество	Процент брака	Срок и условия доставки	Способ доставки	Стоимость	Оценка по фактору	Тип клиента	Способ оплаты	Регион	Загрузка	
1	000-2025	02.01.2025	2025	1	Четверг	Пальто	Пальто зимнее с мехом	Черное	L	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть+мех	3	18000	12000	1.013	5	Да	Курьер СДЭК	500	9	ВКонтакте	СВОБ	Урал
2	000-2025	03.01.2025	2025	1	Пятница	Детская	Куртка зимняя	Синяя	128	Детский	10-12 лет	Дети	Полыэстер+синтепон	2	4500	3000	2.006	3	Да	Почта России	400	9	ВКонтакте	СВОБ	Урал
3	000-2025	04.01.2025	2025	1	Суббота	Рубашка	Рубашка классическая	Белая	M	Женский	25-34	Взрослые	Хлопок	2	3500	2300	3.004	2	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
4	000-2025	05.01.2025	2025	1	Воскресенье	Головные уборы	Шапка вязаная	Серая	—	Женский	35-44	Взрослые	Шерсть	1	1800	1200	5.003	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
5	000-2025	06.01.2025	2025	1	Понедельник	Детская	Варежки	Красные	—	Детский	3-6 лет	Дети	Шерсть+флис	1	800	500	8.002	1	Да	Почта России	300	9	ВКонтакте	Оффлайн	Наличие
6	000-2025	07.01.2025	2025	1	Вторник	Пальто	Пальто с лососем	Коричневое	XL	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть	3	16500	11000	1.012	5	Да	Курьер СДЭК	700	9	ВКонтакте	СВОБ	Урал
7	000-2025	08.01.2025	2025	1	Среда	Платья	Платье трикотажное	Черное	8	Женский	25-34	Взрослые	Трикотаж	2	4200	2800	4.005	3	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
8	000-2025	09.01.2025	2025	1	Четверг	Брюки	Брюки классические	Черные	XL	Женский	35-44	Взрослые	Шерсть	2	4800	3200	3.004	2	Да	Почта России	300	9	ВКонтакте	Оффлайн	Наличие
9	000-2025	10.01.2025	2025	1	Пятница	Детская	Комбинезон зимний	Синий	116	Детский	7-9 лет	Дети	Полыэстер+синтепон	2	5200	3400	2.003	3	Да	Курьер СДЭК	700	9	ВКонтакте	СВОБ	Урал
10	000-2025	11.01.2025	2025	1	Суббота	Головные уборы	Ушанка	Черная	—	Женский	45+	Старшее поколение	Мех/кожа	2	3200	2100	2.006	2	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
11	000-2025	12.01.2025	2025	1	Воскресенье	Пальто	Пальто хаки	Зеленый	122	Детский	7-9 лет	Дети	Шерсть	2	2800	1800	3.004	2	Да	Почта России	400	9	ВКонтакте	Оффлайн	Наличие
12	000-2025	13.01.2025	2025	1	Понедельник	Детская	Свитер	Зеленый	-7	Женский	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
13	000-2025	14.01.2025	2025	1	Вторник	Рубашка	Рубашка в клетку	Красная	L	Женский	25-34	Взрослые	Фланель	1	3100	2000	5.003	2	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
14	000-2025	15.01.2025	2025	1	Среда	Аксессуары	Ремешок	Черный	—	Унисекс	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
15	000-2025	16.01.2025	2025	1	Четверг	Пальто	Пальто с длинным рукавом	Синее	5	Женский	18-24	Молодые	Трикотаж	2	4500	3000	4.005	3	Да	Курьер СДЭК	500	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
16	000-2025	17.01.2025	2025	1	Пятница	Брюки	Брюки утепленные	Черные	M	Женский	25-34	Взрослые	Шерсть+флис	2	4900	3200	3.004	2	Да	Почта России	400	9	ВКонтакте	Оффлайн	Наличие
17	000-2025	18.01.2025	2025	1	Суббота	Детская	Варежки	Красные	—	Детский	3-6 лет	Дети	Шерсть	1	900	600	7.002	1	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
18	000-2025	19.01.2025	2025	1	Воскресенье	Пальто	Пальто с мехом	Черное	—	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть	2	3800	2500	2.006	2	Да	Курьер СДЭК	700	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
19	000-2025	20.01.2025	2025	1	Понедельник	Пальто	Пальто с кашемиром	Синий	XL	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть+синтепон	3	17000	11000	1.011	5	Да	Почта России	300	9	ВКонтакте	Оффлайн	Наличие
20	000-2025	21.01.2025	2025	1	Вторник	Детская	Костюм спортивный	Синий	116	Детский	7-9 лет	Дети	Полыэстер	2	3900	2600	3.004	2	Да	Курьер СДЭК	700	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
21	000-2025	22.01.2025	2025	1	Среда	Рубашка	Рубашка с длинным рукавом	Белая	L	Женский	25-34	Взрослые	Хлопок	2	3400	2200	4.003	2	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
22	000-2025	23.01.2025	2025	1	Четверг	Аксессуары	Ремешок	Черный	—	Унисекс	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
23	000-2025	24.01.2025	2025	1	Пятница	Пальто	Пальто с мехом	Черное	—	Женский	25-34	Взрослые	Кожа	1	2000	1300	5.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
24	000-2025	24.01.2025	2025	1	Пятница	Пальто	Пальто с мехом	Черное	—	Женский	25-34	Взрослые	Трикотаж	2	4200	3000	4.005	3	Да	Курьер СДЭК	500	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
25	000-2025	25.01.2025	2025	1	Суббота	Детская	Варежки	Красные	—	Детский	7-9 лет	Дети	Шерсть	1	900	600	7.003	1	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
26	000-2025	26.01.2025	2025	1	Воскресенье	Пальто	Пальто с мехом	Черное	—	Женский	45+	Старшее поколение	Мех/кожа	2	3200	2100	4.006	2	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
27	000-2025	27.01.2025	2025	1	Понедельник	Пальто	Пальто хаки	Зеленый	M	Женский	35-44	Взрослые	Кашемир	3	19000	12500	1.010	5	Да	Курьер СДЭК	500	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
28	000-2025	28.01.2025	2025	1	Вторник	Детская	Свитер	Зеленый	-7	Женский	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
29	000-2025	29.01.2025	2025	1	Среда	Рубашка	Рубашка в клетку	Красная	L	Женский	25-34	Взрослые	Фланель	1	3100	2000	5.004	1	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
30	000-2025	30.01.2025	2025	1	Четверг	Аксессуары	Ремешок	Черный	—	Унисекс	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6.002	1	Да	Яндекс.Маркет	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
31	000-2025	31.01.2025	2025	1	Пятница	Пальто	Пальто с мехом	Черное	—	Женский	18-24	Молодые	Трикотаж	2	4500	3000	4.005	3	Да	Курьер СДЭК	500	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
32	000-2025	01.02.2025	2025	2	Суббота	Детская	Варежки	Красные	—	Детский	3-6 лет	Дети	Шерсть	1	900	600	7.002	1	Нет	Не требуется	0	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
33	000-2025	02.02.2025	2025	2	Воскресенье	Пальто	Пальто с мехом	Черное	—	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть	2	3800	2500	2.006	2	Да	Курьер СДЭК	700	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
34	000-2025	03.02.2025	2025	2	Понедельник	Пальто	Пальто хаки	Зеленый	XL	Женский	45+	Старшее поколение	Шерсть	3	19000	12500	1.011	5	Да	Курьер СДЭК	500	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
35	000-2025	04.02.2025	2025	2	Вторник	Детская	Свитер	Зеленый	-7	Женский	18-24	Молодые	Полыэстер	1	2500	1600	6.002	1	Да	Почта России	400	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие
36	000-2025	05.02.2025	2025	2	Среда	Рубашка	Рубашка в клетку	Красная	XL	Женский	25-34	Взрослые	Шерсть	2	3900	2600	3.005	2	Да	Курьер СДЭК	700	9	Оффлайн	Оффлайн	Наличие

Создание оптимальных форматов для массива данных, позволяющих повысить эффективность и сократить избыточность, называется структурированием и агрегацией. Необходимо учитывать, какой метод прогнозирования будет применяться в той или иной модели, чтобы привести значения к единой структуре. Например, для модели прогнозирования ARIMA данные должны быть в формате временных рядов, а регрессия должна представлять собой таблицу с независимыми и зависимыми переменными.

Агрегация, в свою очередь, позволяет уменьшать объемы данных и выделять основные параметры. Этого можно достичь за счет сбора данных в более широкие группы (отчеты о рейтингах и затратах за длинный временной промежуток вместо короткого). К методам агрегации относятся:

1. Нахождение максимального значения
2. Нахождение минимального значения
3. Нахождение среднего значения
4. Подсчет количества данных по определенным критериям
5. Вычисление медианного значения
6. Суммирование по категориям
7. Группировка данных
8. Сортировка данных

Однако необходимо учитывать, что потеря детализации или ошибки группировки также может создавать проблемы в процессе работы с данными. Поэтому необходимо правильно использовать библиотеки, запросы и функции, которые позволяют взаимодействовать с функциями агрегации в языках программирования или СУБД.

Методы прогнозирования

Выбор правильного метода прогнозирования позволяет создать четкую модель, способную работать с ней на постоянной основе. Основными методами являются:

1. Временные ряды.
2. Регрессионный анализ.
3. Байесовские методы.

Временные ряды могут использоваться для прогноза продаж, обращаясь к данным за определенный промежуток времени (месяц, полгода, года и так далее). Однако необходимо учитывать, что если набор данных содержит множество аномалий или зависимостей, то итоговый результат может быть неверным.

Регрессионный анализ формирует зависимость между независимыми и зависимыми переменными. Одним из примеров использования данного анализа является прогноз клиентского поведения на основе данных о рекламе и продажах.

Байесовские модели позволяют постоянно обновлять прогнозы с учетом обновления, замены и удаления данных. Но использование данного метода сопряжено с рисками вычислительной сложности, а также необходимостью настройки распределений.

Выбор между методами машинного обучения (ML) и гибридными методами, включающими в себя традиционные статистические подходы с применением ML, может быть крайне затруднителен. В таблице 1 представлено сравнение по различным критериям.

Таблица 1 – Сравнительная таблица

	Гибридные методы	Машинное обучение
Точность	Около 75-85%	Около 90% в сложных системах
Объемы данных	Можно использовать в диапазоне от нескольких сотен до нескольких тысяч записей	Нельзя использовать, если количество записей меньше нескольких тысяч
Устойчивость к шуму	Средняя	Высокая
Возможности для применения	Планирование на основе исходных данных, спрос с учетом сезонности	Прогнозирование рейтингов, продаж, спроса

Практическая значимость исследования заключается в выявлении процессов, которые могут помочь в подготовке данных для дальнейшего взаимодействия с ними информационной системе. В ходе исследования сделаны выводы о том, какие методы прогнозирования могут применяться к набору данных с учетом точности, объема данных, устойчивости к шуму, а также итоговому назначению.

Список литературы

1. Савочкина, Д. С. Исследование технологий визуализации информации и данных и разработка прототипа модуля визуализации многомерных данных в системах аналитики / Д. С. Савочкина // Международная научно-практическая конференция по компьютерной и информационной безопасности (INFSEC 2023): сборник статей, Екатеринбург, 30 июня 2023 года / ООО «Институт цифровой экономики и права». – Екатеринбург: Общество с ограниченной ответственностью "Институт Цифровой Экономики и Права", 2023. – С. 108-109.
2. Дудорова, А. В. Применение Bootstrap метода в анализе поведенческих данных и метод визуализации данных выбора из трех объектов / А. В. Дудорова, Д. А. Подгрудков, Е. П. Крученкова // Зоологический журнал. – 2023. – Т. 102, № 3. – С. 349-353. – DOI 10.31857/S0044513423020046.
3. Аксенов, М. С. Краткие сведения о power Bi: загрузка данных, визуализация данных / М. С. Аксенов, Р. Е. Солдатов // Педагогическое образование на Алтае. – 2017. – № 2. – С. 7-13.
4. Гамаюнова, О. А. Анализ данных и BI-системы в маркетинге: визуализация и интерпретация данных для принятия решений / О. А. Гамаюнова // Достижения науки и технологий-ДНиТ-11-2023 : Сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции, Красноярск, 27–28 февраля 2023 года. Том Выпуск 7. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2023. – С. 364-368.

References

1. Savochkina, D. S. Research of information and data visualization technologies and development of a prototype module for visualization of multidimensional data in analytics systems / D. S. Savochkina // International Scientific and Practical Conference on Computer and Information Security (INFSEC 2023) : collection of articles, Yekaterinburg, June 30, 2023 / Institute of Digital Economics and Law, LLC. Yekaterinburg: Limited Liability Company "Institute of Digital Economics and Law", 2023, pp. 108-109.
2. Dudorova, A.V. Application of the Bootstrap method in the analysis of behavioral data and a method for visualizing data from a choice of three objects / A.V. Dudorova, D. A. Podgrudkov, E. P. Kruchenkova // Zoological Journal. – 2023. – Vol. 102, No. 3. – pp. 349-353. – DOI 10.31857/S0044513423020046.
3. Aksenov, M. S. Brief information about power Bi: data loading, data visualization / M. S. Aksenov, R. E. Soldatov // Pedagogical education in Altai. - 2017. – No. 2. – pp. 7-13.
4. Gamayunova O. A. Data analysis and BI systems in marketing: visualization and interpretation of data for decision-making / O. A. Gamayunova // Achievements of Science and technology-DNiT-11-2023 : Collection of scientific articles based on the materials of the II All-Russian Scientific Conference, Krasnoyarsk, February 27-28, 2023. Volume 7. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Regional House of Science and Technology of the Russian Union of Scientific and Engineering Public Associations, Krasnoyarsk, 2023, pp. 364-368.

ПРИЧИНЫ ПОТЕРИ ДАННЫХ, МЕТОДЫ БОРЬБЫ И ПРОФИЛАКТИКИ

А.О. Карташов

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

Аннотация. Работа с большими объемами информации всегда сопряжена с рисками. Ключевым риском в таком случае является потеря данных в силу разных обстоятельств. Понимание причин таких событий может помочь как компаниям, так и отдельным пользователям, выявлять потенциально опасные ситуации и по возможности избегать их.

Ключевые слова: вредоносное ПО, резервные копии, хранение данных, облачное хранение, восстановление данных.

CAUSES OF DATA LOSS, TREATMENT AND PREVENTION METHODS

A.O. Kartashov

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

Abstract. Working with large amounts of information always comes with risks. The key risk in this case is the loss of data due to various circumstances. Understanding the causes of such events can help both companies and individual users identify potentially dangerous situations and avoid them as much as possible.

Keywords: malware, backups, data storage, cloud storage, data recovery.

Введение

Любая крупная система всегда связана с передачей большого объема информации. Методы и способы хранения информации могут быть различными, однако любой сбой может привести к проблемам, исправление которых займет множество времени, сил и денежных средств. Именно поэтому понимание первопричин таких ситуаций может помочь в их избегании. А в случае сталкива-

ния с такой проблемой, необходимо знать, какие методы борьбы являются наиболее эффективными и заслуживающими внимания.

Использование вредоносного программного обеспечения

В таблице 1 представлены наиболее популярное вредоносное программное обеспечение, от которого страдают компании и пользователи.

Таблица 1 – Вредоносное программное обеспечение

Название	Метод попадания в систему	Работа внутри системы
Шпионские программы	Могут быть защиты внутри скачиваемого файла.	Кража логинов и паролей, запись работы любого ПК в системе, сбор данных о пользователе.
Троянские программы (“тройные кони”)	Вредоносное ПО маскируется под безопасное, из-за чего пользователь самостоятельно заносит его в систему.	После попадания в систему, злоумышленники получают полный доступ, что открывает возможность для проведения любых операций.

Продолжение таблицы 1

Рекламные программы	Неосторожное обращение в сети, открытие подозрительных ссылок.	Позволяют направлять трафик в необходимый браузер, открывать всплывающие окна во время работы.
Черные ходы	Разработчики сами могут оставить доступ к системе без ведома пользователя.	В зависимости от конфигурации в худшем случае может перехватить управление над системой.
Кейлогеры	Могут быть вшиты в любые программы или установлены случайно.	Запоминают последовательность нажимаемых клавиш, что приводит к утечке данных. Особенно чувствительно в случаях банковских транзакций.
Шифровальщики	Использование программ от неизвестных поставщиков или кибератака с целью проникновения.	Шифруют данные, что парализует всю систему, включая смежные процессы.

Одной из наиболее распространенных причин потерь данных является вредоносное программное обеспечение, которое в свою очередь “заражает” всю систему. Последствия такой ситуации могут быть самыми разными, начиная от потери конкретного файла или группы файлов, заканчивая потерей доступа ко всей системе. Основными методами профилактики таких событий является использование официального лицензированного ПО, а также проверка любых данных, с которыми взаимодействуют пользователи.

Человеческий фактор, отсутствие технического обслуживания или неправильное общение с техникой

Как видно из таблицы номер 1, основным методом попадания в систему вредоносного ПО являются человеческие действия. Иногда пользователь намеренно запускает такой вирус в компьютер, однако в подавляющем большинстве случаев именно неосторожность или незнание об угрозах становятся причиной. То же самое касается случаев, когда удаляются необходимые файлы, форматируются целые разделы с информацией или старые файлы перезаписываются на новые.

Хоть жесткие диски традиционно считаются одними из самых надежных способ хранения данных, даже они могут быть подвержены физическому воздействию, которое приводит к поломкам. В свою очередь, SSD или M2 носители требуют еще более бережного обращения с собой из-за крайней хрупкой архитектуры устройств. Неправильное обращение с техникой может привести даже к большим проблемам, чем системная ошибка, так как физическое восстановление устройства является более тяжелой и кропотливой работой.

Отсутствие технического обслуживания также является распространенной проблемой. Одной из проблем может быть редкая чистка вентиляторов. Это приводит к ухудшению их работы, что в свою очередь сказывается на быстродействии системы, а в некоторых случаях перегрев становится главной причиной поломок. Что касается технической части, то отсутствие проверок системы, хранение избыточного количества файлов и неправильные сохранения также могут привести к замедлению системы или полному ее отключению.

Способы профилактики и исправления ошибок

Несмотря на большое количество причин возникновения проблем, также существуют методы их решения. В случае с человеческим фактором для особо важных операций (удаление, изменение или запись на определенный носитель),

должна проводиться полная проверка необходимости этого действия. В некоторых ситуациях должна применяться система с подтверждением от вышестоящего по должности человека или группы лиц.

Техническое обслуживание должно проводиться строго в срок. Это касается как аппаратной, так и технической части. Любая компания должна закладываться в бюджет такую статью расходов, обращаясь к проверенным специалистам. Стоит помнить, что попытка сэкономить на такой важной части, может привести к гораздо более затратным методам восстановления данных.

Однако главным способом минимизировать ущерб в случае нештатной ситуации является наличие работоспособной резервной копии на надежном носителе. Самым эффективным является хранение данных “в облаке”, так как нанести физический вред в таком случае не представляется возможным. Процесс создания резервной копии должен быть неотъемлемой частью работы любого сотрудника, взаимодействующего с данными в рамках информационной системы компании. Именно наличие или отсутствие таких “бэкапов” может предопределить деятельность компании в случае проблемы.

Список литературы

1. Поляков, Я. А. Использование различных подходов резервного копирования баз данных для предотвращения потери данных / Я. А. Поляков, Е. Д. Алехина // Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе : Материалы Всероссийской научно-технической конференции. В 2-х томах, Калуга, 14–16 ноября 2023 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – С. 60-62.

2. Фридман, О. Д. Предотвращение риска разрушения и потери ценных данных в банковской сфере / О. Д. Фридман, Д. А. Трунина, Г. О. Чегуров // Научный электронный журнал Меридиан. – 2019. – № 16(34). – С. 42-44.

3. Танкаян, А. И. Информационная безопасность персонального компьютера и современные виды угроз потери данных / А. И. Танкаян, Д. Н. Савинская // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития : Сборник материалов XI международного студенческого форума, Краснодар, 23–27 июля 2018 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – С. 114-116.

4. Поляков, А. А. Скрытые риски массовых обновлений данных: как избежать потери и утечки информации / А. А. Поляков // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9, № 12(50). – С. 12-15.

5. Алешин, А. Ю. Эффективные способы борьбы с потерей корпоративных данных / А. Ю. Алешин // Защита информации: IT, правовые и экономические аспекты : Сборник научных трудов Межвузовской студенческой научно-практической конференции, Москва, 16–17 марта 2023 года. – Москва: МИРЭА - Российский технологический университет, 2023. – С. 84-87.

References

1. Polyakov, Ya. A. The use of various database backup approaches to prevent data loss / Ya. A. Polyakov, E. D. Alyokhina // High-tech technologies in instrumentation and mechanical engineering and the development of innovation in higher education institutions : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference. In 2 volumes, Kaluga, November 14-16, 2023. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2024, pp. 60-62.

2. Friedman, O. D. Preventing the risk of destruction and loss of valuable data in the banking sector / O. D. Friedman, D. A. Trunina, G. O. Chegurov // Scientific electronic journal Meridian. – 2019. – № 16(34). – Pp. 42-44.

3. Tankayan, A. I. Information security of a personal computer and modern types of data loss threats / A. I. Tankayan, D. N. Savinskaya // Information Society: current state and development prospects : Collection of materials of the XI International Student Forum, Krasnodar, July 23-27, 2018. Krasnodar: I.T. Trublin Kuban State Agrarian University, 2018, pp. 114-116.

4. Polyakov, A. A. Hidden risks of massive data updates: how to avoid information loss and leakage / A. A. Polyakov // International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. – 2024. – Vol. 9, No. 12(50). – pp. 12-15.

5. Alyoshin, A. Y. Effective ways to combat corporate data loss / A. Y. Alyoshin // Information protection: IT, legal and economic aspects : Proceedings of the Interuniversity Student Scientific and Practical Conference, Moscow, March 16-17 In 2023. – Moscow: MIREA.

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА ВЫБРОСЫ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

А.О. Карташов, В.И. Куницын, А.В. Толкачев

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

Влияние лесного покрова на углеродный след остается одной из важнейших тем экологической сферы в Российской Федерации. Использование точных моделей и графиков для анализа позволяет отражать реальную картину по регионам. Данная работа позволяет формировать понимание механизмов с целью уменьшения количества выбросов CO₂. А также влияния экономических показателей на этот процесс.

Ключевые слова: анализ данных, математические модели, графическое представление.

CREATING AN INFORMATION MODEL TO ANALYZE THE IMPACT OF FOREST COVER ON CARBON DIOXIDE EMISSIONS

A.O. Kartashov, V.I. Kunitsyn, Tolkachev A.V.

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

The impact of forest cover on the carbon footprint remains one of the most important environmental issues in the Russian Federation. The use of accurate models and graphs for analysis allows us to reflect the real situation by region. This work helps us understand the mechanisms involved in reducing CO₂ emissions. It also highlights the impact of economic factors on this process.

Keywords: data analysis, mathematical models, and graphical representation.

Введение

Лесные массивы является одной важнейших частей экономического развития нашей страны. Они входят в неотъемлемую часть экологической повестки, позволяя сокращать опасные выбросы, а также минимизировать ущерб от промышленных предприятий в различных регионах Российской Федерации. Для формирования адекватной и объективной картины, с целью сохранения и ухода за природными богатствами, необходимо наглядно видеть, как лесной покров влияет на углеродный след. Целью данной статьи является обзор функционала программы, выполняющей эти функции.

Набор данных и анализ используемых библиотек

Изначальный набор данных представляет собой набор данных в CSV файле, содержащий информацию о выбранных регионах и сводных данных по различным критериям. Среди этих критериев: общая площадь региона, доля лесов в проценте от территории, площадь лесов, население, годовые выбросы углекислого газа, значения ВРП каждого региона.

Для работы с представленным массивом данных, а также дальнейшей обработкой и преобразованием его в графический вид, были использованы различные библиотеки. В таблице 1 представлена информация о каждой библиотеке и ее функционале в рамках рассматриваемой программы.

Таблица 1 – Обзор библиотек

Название библиотеки	Использование в программе
pandas	Чтение файла с данными, расчет новых столбцов, сортировка данных
scikit-learn	Расчет линейной регрессии
matplotlib	Сохранение рисунков и отчетов в формате png, создание 3d-графика
numpy	Вывод квантилей, процентилей, линейных пространств, линии тренда

Анализ данных и сравнение моделей

```
► Размеры: (20, 8)
   region year ... gdp_bil_rub co2_mtons
0  Московская область 2023 ...      9500      35.73
1  Санкт-Петербург 2023 ...      5200      25.68
2  Красноярский край 2023 ...      4800      25.85
3  Иркутская область 2023 ...      3500      25.19
4  Республика Саха (Якутия) 2023 ...      1200      16.53

[5 rows x 8 columns]

► Корреляции:
           forest_cover_pct forest_area_kha co2_mtons
forest_cover_pct          1.000000          0.667684 -0.227188
forest_area_kha           0.667684          1.000000 -0.176343
co2_mtons                 -0.227188         -0.176343  1.000000

► Model 1: C02 ~ forest_cover_pct
   coef = -0.05270199232508018 intercept = 23.752938022393945 R² = 0.05161446164062844
► Model 2: C02 ~ forest_cover_pct + gdp_bil_rub
   coefs = [0.01515831 0.00220894] intercept = 13.422905388737526 R² = 0.833861716860595
```

Рисунок 1 – Статистические данные

На рисунке 1 мы видим первые результаты анализа данных в программе. Изначально массив данных состоит из 20 строк, которые являются регионами РФ, а также 8 из столбцов, которые являются характеристиками. Как мы видим, таблица с данными корректно отобразилась с соответствующей размерностью. Следующим параметром является вывод корреляции. Здесь мы рассматриваем, как связаны лесистость и выбросы углекислого газа, площадь лесов и выбросы углекислого газа, а также лесистость и площадь лесов.

Рассмотрим каждый показатель отдельно. Корреляция лесистости и выбросов равна -0.227, соответственно, можно сделать вывод о том, что чем больше лесов, тем выбросов немного меньше. Однако эффект достаточно слабый.

То же самое касается площади лесов и выбросов. В данном случае показатель еще ниже и равен -0.176.

Однако лесистость и площадь лесов связаны напрямую, так как показатель в данном случае 0.667. То есть, чем больше территория и процент лесов на ней, тем больше площадь лесов.

Также на рисунке 1 представлены результаты двух моделей. Для Model 1 мы берем только показатель лесистости региона, а переменная – это количество выбросов CO₂ в год. Показатель коэффициента регрессии примерно -0,052701.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что если лесистость поднимается на 1 процент, то уровень выбросов уменьшается на 53 тысячи тонн в год.

Интерсепт показывает уровень выбросов для регионов, где показатель лесистости равен 0. В нашем случае он равен 23,7. То есть, это среднее базовое значение зависимой переменной.

Коэффициент детерминации показывает, насколько хорошо модель объясняет вариацию данных. Наше значение 5% (0.05), что достаточно близко к 0, а значит, связь слабая. Соответственно, лесистость объясняет лишь 5% различий в выбросах углекислого газа.

В Model 2 мы добавляем к нашим факторам значение валового регионального продукта (ВРП). Это позволяет учитывать экономический показатель. Сравним новые показатели со старыми.

Для коэффициента мы имеем два показателя 0.015 и 0.002. Новый показатель означает, что рост ВРП на 1 миллиард рублей, увеличит выбросы на 2000 тонн в год. Интерсепт в данном случае равен 13,42 для данных, где лесистость и ВРП равны нулю.

Показатель коэффициента детерминации у данной модели уже 0.83. Относительно предыдущей модели мы видим существенный прирост. Можно сделать вывод о том, что промышленные регионы генерируют больше выбросов, несмотря на количество лесного покрова в них.

Графическое отображение взаимосвязи лесистости и углекислого газа

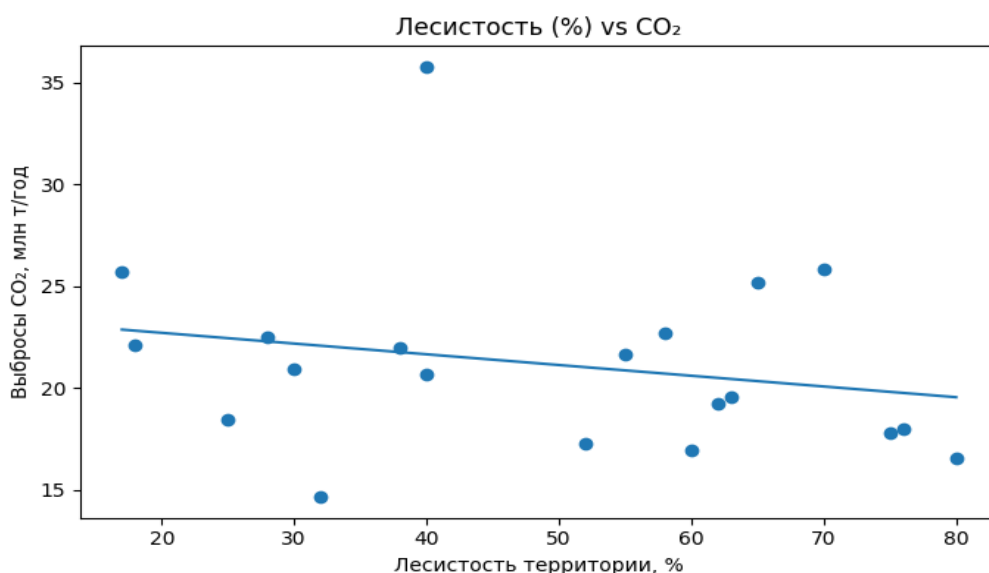


Рисунок 2 – Графическое отображение Model 1

На рисунке 2 мы видим график, который показывает взаимосвязь процента лесного покрова и выбросов CO₂. С помощью синих точек мы показы-

ваем данные по регионам, синяя линия – линейная регрессия для Model 1. По осям расположены данные о лесистости регионов в процентах и показатели выбросов в миллионах тонн за год.

Точки разбросаны выше и ниже линии. Это свидетельствует о том, что данные тяжело объяснить данной моделью, и расположены они беспорядочно.

Также заметно, что на графике есть один четкий выброс. Это показатель, превышающий значение 35 по оси Y, и со значением по оси X равным 40%. То есть, несмотря на средний показатель лесистости, количество выбросов сильно превышает любой показатель на графике. Можно сделать вывод, что на количество выбросов влияют другие параметры и факторы.

Наклон линии небольшой, это показывает, что связь между % лесистости и выбросами очень слабая. Что также подтверждается результатами Model 1, полученными ранее.

Модель 2: $\text{CO}_2 \sim \text{лесистость} + \text{ВРП}$ (3D: точки + плоскость)

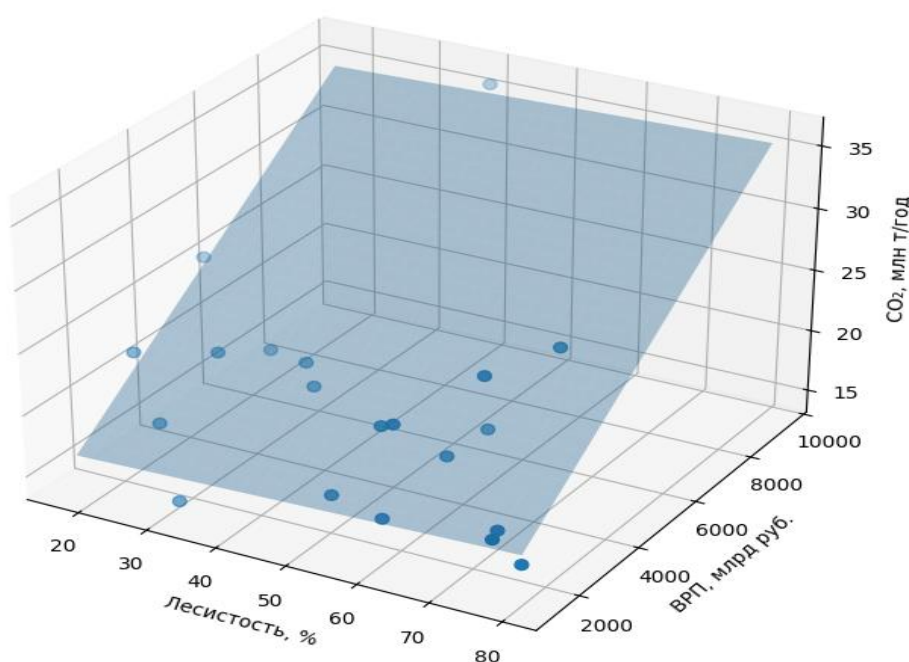


Рисунок 3 – Графическое отображение Model 2

На рисунке 3 представлен график для Model 2. Отличие данного графика в том, что он представляет собой трехмерную плоскость, так как мы учитываем новую переменную – показатель ВРП, отображенную по оси Y.

По итогам анализа можно сделать вывод о взаимосвязи показателей валового регионального продукта и выбросах CO₂. Чем больше ВРП, тем сильнее

выбросы. Однако лесистость способствует снижению таких выбросов, хотя и связь меньше, чем влияние экономических показателей.

Также как в Model 1, в Model 2 существуют выбросы. Но с введением дополнительной переменной их количество выросло. Аномальные значения для трехмерного графика – это значения, сильно отклоняющиеся от плоскости выше или ниже.

Список литературы

1. Левочкин, Р. Г. Взаимоотношение экологического и углеродного следа / Р. Г. Левочкин, А. В. Козачек // Мир науки без границ : Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных с международным участием, Тамбов, 26 апреля 2024 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. – С. 183-186.
2. Ilkevich, D. A. Artificial intelligence and remote sensing: a new approach to monitoring carbon footprint in cities / D. A. Ilkevich // 28 ноября 2024 года, 2024. – Р. 59-64.
3. Завьялова, Е. Б. Сравнительный анализ эффективности механизмов углеродного рынка и углеродного налога для реализации целей общемирового снижения углеродного следа / Е. Б. Завьялова, Ц. Ли // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. – 2023. – Т. 31, № 4. – С. 740-759. – DOI 10.22363/2313-2329-2023-31-4-740-759.
4. Романцева, Ю. Н. Цифровые решения для расчета углеродного следа в сельском хозяйстве / Ю. Н. Романцева, А. М. Бодур // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 15, № 11(152). – С. 150-159. – DOI 10.36871/ek.ur.p.r.2024.11.15.021.
5. Неминущая, С. А. Инновационные способы сокращения углеродного следа в мировой экономике / С. А. Неминущая, Е. В. Моисеева, Н. А. Азарова // Трансформация экономических систем: низкоуглеродная экономика и климатическая политика : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 15 апреля 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 68-73. – DOI 10.58168/LCECP2022_68-73.

References

1. Levochkin, R. G. Relationship of the ecological and carbon footprint / R. G. Levochkin, A. V. Kozachek // The world of science without borders : Materials of the XI All-Russian scientific and practical conference of young scientists with international participation, Tambov, April 26, 2024. Tambov: Tambov State Technical University, 2024. pp. 183-186.
2. Ilkevich, D. A. Artificial intelligence and remote sensing: a new approach to monitoring carbon footprint in cities / D. A. Ilkevich / November 28, 2024, 2024. – P. 59-64.
3. Zavialova, E. B. Comparative analysis of the effectiveness of carbon market and carbon tax mechanisms for achieving the goals of global carbon footprint reduction / E. B. Zavyalova, C. Li // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Economics. – 2023. – Vol. 31, No. 4. – Pp. 740-759. – DOI 10.22363/2313-2329-2023-31-4-740-759.
4. Romantseva, Yu. N. Digital Solutions for Calculating the Carbon Footprint in Agriculture / Yu. N. Romantseva, A. M. Bodur // Economics and Management: Problems and Solutions. – 2024. – Vol. 15, No. 11(152). – pp. 150-159. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.11.15.021.
5. Neminushchaya, S. A. Innovative ways to reduce the carbon footprint in the global economy / S. A. Neminushchaya, E. V. Moiseeva, N. A. Azarova // Transformation of economic systems: low-carbon economics and climate policy : proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 15, 2022. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State Forestry University, 2022. – Pp. 68-73. – DOI 10.58168/LCECP2022_68-73.

АРХИТЕКТУРА ЗАЩИЩЕННОГО ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫМИ ПРОЕКТАМИ

Д.А. Малышев, С.А. Евдокимова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных
технологий»

В работе рассматривается разработка веб-приложения для управления программными проектами, которое предназначено для планирования, назначения и отслеживания задач, контроля выполнения этапов, разграничения прав доступа, организацию командной работы и оперативного оповещения участников. Особое внимание уделено вопросам защиты приложения от киберугроз.

Ключевые слова: управление проектами, веб-приложение, информационная безопасность, архитектура, угрозы безопасности.

ARCHITECTURE OF A SECURE WEB APPLICATION FOR MANAGING SOFTWARE PROJECTS

D.A. Malyshev, S.A. Evdokimova

Voronezh State University of Engineering Technologies

The paper considers the development of a web application for managing software projects, which is designed for planning, assigning and tracking tasks, monitoring the completion of stages, delimiting access rights, organizing teamwork and promptly notifying participants. Special attention is paid to the issues of protecting the application from cyber threats.

Keywords: project management, web application, information security, architecture, security threats.

Одним из важнейших направлений цифровой трансформации является автоматизация управления программными проектами, включая планирование,

распределение задач, контроль исполнения и взаимодействие между членами команды. Особенно остро этот вопрос стоит в удаленных и распределенных рабочих средах, где качество цифрового инструмента напрямую влияет на продуктивность и координацию работы всех участников проекта [1-3].

Проектируемое веб-приложение ориентировано на использование в условиях корпоративной среды, что предопределяет особые требования к архитектуре – как в части надёжности и безопасности, так и в части масштабируемости и сопровождения. Основная цель проектирования архитектуры в данном случае заключается в построении стабильного, гибкого и защищённого решения, которое может быть развёрнуто в изолированной серверной среде с возможностью контролируемого расширения функциональности. Разрабатываемая программная система предназначена для небольших и средних команд разработки, работающих над одним или несколькими проектами в рамках общей корпоративной среды.

В качестве основного архитектурного подхода выбрана модель модульного монолита с изолированной логикой и строгой иерархией слоёв. Такой выбор обусловлен необходимостью сохранить централизованное управление бизнес-логикой, что особенно важно при ограниченном бюджете и в условиях эксплуатации внутри одной организации. В то же время структура приложения закладывает потенциальную возможность миграции в микросервисную архитектуру за счёт контейнеризации, изолированных модулей и унифицированных интерфейсов взаимодействия.

Архитектура системы охватывает три основные области: клиентское приложение (frontend), серверное ядро (backend), а также инфраструктурную и системную часть, включающую в себя серверные компоненты, систему хранения данных, кеширование и маршрутизацию (рисунок 1).

Клиентская часть системы реализована на базе современного JavaScript-фреймворка Vue 3 с использованием UI-библиотеки Quasar. Такой выбор обусловлен высокой степенью адаптируемости фреймворка, его производительностью, а также возможностью легко реализовывать компоненты пользовательского интерфейса, соответствующие требованиям корпоративных приложений. Система управления состоянием компонента построена на Composition API. Для взаимодействия с серверной частью используется GraphQL-клиент Apollo, обеспечивающий не только запросы и мутации, но и подписки на события в реальном времени. Важным аспектом является то, что авторизация реализована на основе JWT-токенов, передаваемых через httpOnly cookie, что повышает за-

щищённость от атак XSS и делает фронтенд полностью изолированным от хранения критичных данных [4].

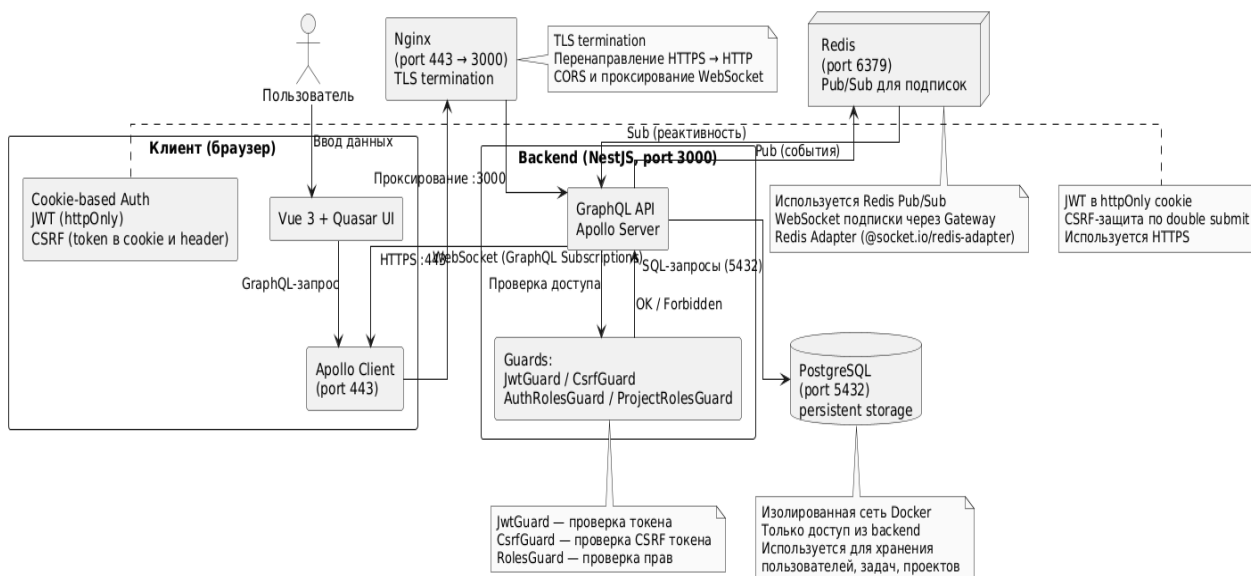


Рисунок 1 – Логическая архитектурная диаграмма

Серверная часть построена на платформе NestJS и реализует архитектурные принципы чистой архитектуры и инверсии зависимостей. NestJS, как прогрессивный фреймворк, предоставляет развитую систему модулей, которая идеально подходит для реализации масштабируемого бизнес-приложения. Основная логика разнесена по модулям: пользователи, проекты, задачи, авторизация и роли, каждый из которых изолирован и может быть независимо протестирован и доработан. Сервер предоставляет единую точку входа для всех клиентов через GraphQL API. Это решение выбрано ввиду его высокой выразительности, строгой типизации и возможности гибкой агрегации данных в одном запросе [5].

Каждый запрос, отправляемый на сервер, проходит через цепочку middleware и Guard-компонентов, которые обеспечивают многоуровневую защиту. Авторизация реализована через JwtGuard, верифицирующий токен, а доступ к отдельным операциям регулируется AuthRolesGuard для глобальных ролей и ProjectRolesGuard для контекста конкретного проекта. Такой подход позволяет гибко разграничивать доступ не только между обычными пользователями и администраторами, но и между участниками проектов с разными ролями: владельцем, администратором или участником. Особенностью архитек-

туры является наличие дополнительного уровня защиты от CSRF-атак на уровне всех операций изменения данных (mutation), что реализовано через CsrfGuard, валидирующий токен из cookie и из заголовков.

Слой хранения данных построен на реляционной СУБД PostgreSQL. Структура базы данных тщательно спроектирована в соответствии с требованиями нормализации и учётом бизнес-логики приложения. Использование ORM-библиотеки TypeORM позволило добиться высокой декларативности моделей и упростить работу с вложенными сущностями и связями. Все связи между пользователями, проектами, задачами и ролями отражаются на уровне модели, что позволяет динамически строить сложные выборки с учётом ролевого контекста и прав доступа. Также реализована система миграций, обеспечивающая версионирование схемы базы данных и возможность автоматического отката изменений при необходимости [6, 7].

Подсистема реактивности реализована на основе Redis, выступающего в роли брокера сообщений для подписок в GraphQL. Это даёт возможность клиентам в режиме реального времени получать уведомления о событиях, происходящих в рамках их проектов: создании новых задач, изменениях статуса, назначении участников. Redis выбран как отказоустойчивое и производительное решение, которое легко масштабируется и хорошо интегрируется с Node.js-экосистемой. Для корректной работы подписок используется адаптер `@socket.io/redis-adapter`, обеспечивающий согласованность состояния между несколькими экземплярами серверов.

Инфраструктурный слой реализован с применением инструментов контейнеризации. Каждое логическое приложение (frontend, backend, Redis, PostgreSQL, Nginx) развернуто в отдельном Docker-контейнере, что позволяет изолировать среду выполнения, ускорить деплой и обеспечить воспроизводимость. Docker-контейнеры управляются с использованием docker-compose, а весь процесс CI/CD автоматизирован через GitLab, включая этапы сборки, тестирования, публикации образов и выкладки на сервер. Это исключает ручной фактор и позволяет гарантировать идентичность среды разработки и продукта.

Дополнительную защиту и маршрутизацию выполняет Nginx, который функционирует как обратный прокси, маршрутизирует HTTPS-запросы, обрабатывает WebSocket-подключения, а также реализует SSL-терминацию. Его конфигурация позволяет отсекать потенциальные атаки уже на периметре и минимизирует экспозицию backend-приложения во внешнюю сеть.

Таким образом, логическая структура приложения формирует собой стройную вертикаль взаимодействующих компонентов, где каждый уровень строго изолирован, но интегрирован в общую архитектуру. В верхнем уровне находится пользователь, взаимодействующий с клиентом; далее идёт слой API, защищённый авторизацией и ролевыми фильтрами; затем бизнес-логика и слой доступа к данным; и наконец, инфраструктурные элементы, обеспечивающие маршрутизацию, хранение и реактивную коммуникацию. Такое решение, построенное на современных технологиях и подходах, позволяет не только удовлетворить текущие функциональные и нефункциональные требования, но и формирует задел для долгосрочного развития приложения в корпоративной среде.

Безопасность веб-приложения, особенно внедряемого в корпоративную информационную среду, не может рассматриваться как вспомогательная функция или этап “после реализации”. Напротив, в условиях постоянных угроз, компрометаций данных, социальной инженерии и атак на уровне протоколов, архитектура защиты должна быть интегрирована в каждую составляющую системы — как на уровне кода, так и на уровне инфраструктуры, каналов связи и логики взаимодействия пользователей.

Проектируемая система реализует комплексную, сквозную модель безопасности, охватывающую все аспекты: идентификацию, аутентификацию, авторизацию, защиту каналов передачи данных, изоляцию компонентов, валидацию пользовательского ввода, защиту от наиболее распространённых атак и поддержку контролируемого окружения. Все решения принимались с опорой на актуальные рекомендации OWASP (Open Web Application Security Project) [4], а также опыт разработки корпоративных систем. В дополнение к требованиям стандартов ФСТЭК, реализация модулей безопасности ориентировалась на стандарты безопасной разработки ПО, в частности, OWASP ASVS и ISO/IEC 27034, регламентирующий проектирование безопасных приложений.

Ключевым элементом архитектуры безопасности является правильно спроектированная и реализованная система аутентификации. В данном приложении используется cookie-based подход с JWT (JSON Web Token), при котором токен авторизации формируется на стороне сервера и возвращается клиенту в виде httpOnly cookie. Это означает, что токен недоступен из JavaScript-кода на клиенте и, следовательно, не может быть считан через XSS-атаки.

На стороне сервера используется Guard-компонент JwtGuard, который валидирует подпись токена, проверяет срок действия и извлекает из токена по-

лезную нагрузку (payload), содержащую идентификатор пользователя, email и его глобальные роли. Все эти данные передаются далее в контекст запроса (req.user) и используются как единая точка авторизации на всём протяжении обработки запроса.

Один из часто игнорируемых, но критичных в корпоративной среде векторов атак – это межсайтовая подделка запросов (CSRF). В условиях использования cookie для хранения авторизационного токена становится необходимым реализовать дополнительный механизм проверки «на подлинность намерения» клиента.

В данном приложении для всех GraphQL-операций типа mutation реализован Guard CsrfGuard, валидирующий наличие CSRF-токена. Принцип работы следующий: при первом посещении клиент получает CSRF-токен в виде отдельной cookie (не httpOnly), а затем должен передавать этот токен в HTTP-заголовке x-csrf-token при выполнении мутаций. Сервер проверяет, что значение заголовка совпадает со значением в cookie, и только после этого допускает выполнение мутации. Такой двойной контроль гарантирует, что вредоносный скрипт, работающий в другом домене, не сможет инициировать изменение данных от имени пользователя.

Данный подход сочетается с наличием httpOnly JWT и позволяет выстроить защищённую схему передачи данных без необходимости хранения токенов в браузере в виде переменных [8].

Таким образом, была спроектирована архитектура защищенного веб-приложения для управления программными проектами, особое внимание в работе было уделено техническому качеству архитектуры, защите пользовательских данных, разграничению прав доступа и соблюдению современных стандартов безопасности.

Список литературы

1. Задача о назначениях при управлении проектами / Ю.В. Бугаев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 15-23.
2. Выбор критерия оптимальности при принятии управленческих решений в сложных технических системах / А.В. Скрыпников [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 120-128.
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.

4. OWASP Foundation. OWASP Top 10:2021. – URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten/>(дата обращения: 12.10.2025).
5. ГОСТ ISO/IEC 29100-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Основы защиты персональных данных. – М.: Стандартинформ, 2021. – 28 с.
6. Smith, J. PostgreSQL Performance Tuning and Optimization / J. Smith, A. Jones. – London: O'Reilly, 2021. – 250 p.
7. Advanced PostgreSQL Optimization / D. Black [et al.]. – London: TechPress, 2021. – 400 p.
8. Thompson, M. JWT Authentication: Best practices and when to use it / M. Thompson. – LogRocket Blog, 2023. – 10 p.

References

1. The assignment problem in project management / Yu.V. Bugaev [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2023. – Vol. 16, No. 4. – Pp. 15-23.
2. Selection of the optimality criterion in making managerial decisions in complex technical systems / A.V. Skrypnikov [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 120-128.
3. Vysotskaya, I.A. Substantiation 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.
4. The OWASP Foundation. OWASP Top 10:2021. – URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten/> (date of publication: 12.10.2025).
5. GOST ISO/IEC 29100-2021. Information technology. Methods and means of ensuring security. Fundamentals of personal data protection. – Moscow: Standartinform, 2021. – 28 p.
6. Smith, J. PostgreSQL performance tuning and optimization / J. Smith, A. Jones. – London: O'Reilly, 2021. – 250 p .
7. Advanced optimization of PostgreSQL / D. Black [et al.]. – London: TechPress, 2021. – 400 p.
8. Thompson, M. JWT authentication: Best practices and when to use it / M. Thompson. – LogRocket blog, 2023. – 10 p.

**HSI-АГРОМОНИТОРИНГ: СОСТАВЛЯЮЩИЕ
ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ
«ДИСТАНЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР – ПОЛЕ – НАБЛЮДАТЕЛЬ»**

А.И. Новиков¹, А.В. Лебедев², Д.С. Гаврин³, Т.П. Новикова⁴

¹Агрофизический научно-исследовательский институт

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева»

³ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова»

⁴ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

В работе рассмотрены потенциальные варианты применения дистанционного зондирования в рамках HSI-агромониторинга для оценки состояния поля и возможность применения снимков, полученных HSI-камерой. Приведены примеры оценки степени зрелости семян с помощью авиационной системы с HSI-камерой.

Ключевые слова: гиперспектральная съемка, дистанционный мониторинг, агромониторинг, программное обеспечение.

**HSI-AGROMONITORING: COMPONENTS OF EFFECTIVE
CONTROL OF THE «REMOTE DETECTOR – FIELD – OBSERVER»
SYSTEM**

A.I. Novikov¹, A.V. Lebedev², D.S. Gavrin³, T.P. Novikova²

¹Agrophysical Research Institute

²Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

³FSBIS "VNIIS named after A.L. Mazlumov

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The paper considers potential applications of remote sensing in the framework of HSI-agromonitoring to assess the state of the field and the possibility of using images obtained by an HSI-camera. Examples of assessing the degree of maturity of families using a drone with HSI-camera are given.

Keywords: hyperspectral imaging, remote sensing, agromonitoring, software.

Современное сельское хозяйство стремится к активному использованию системы точного земледелия, при котором учитывается пространственная неоднородность каждого отдельно взятого поля по обеспеченности почвы питательными веществами, влажности. В научной литературе [1] в рамках HSI-агромониторинга часто используется очень широкий термин «дистанционное зондирование Земли» (ДЗЗ), но в таком случае не всегда бывает понятно, какие именно данные ДЗЗ предлагают использовать: космической съемки, аэросъемки или иные. На спектральные характеристики оказывает влияние множество факторов – технические параметры используемых сенсоров, время года, суток, освещенность, угол падения световой волны, длина световой волны (БИК [6,] или видимый [7] диапазон) и т.д. В случае с космической съемкой для снимков Landsat строят свои модели, а для Sentinel – свои, и такая съемка может дать только «среднее по полю» значение. Применение гиперспектральных изображений при разработке моделей и алгоритмов оценки [4,5] состояния отдельного поля может быть затруднено в связи с отсутствием экспертной интерпретации (расшифровки) снимков.

Однако, несмотря на особенности, описанные выше, у дистанционного зондирования, со спутника или с дрона, оснащенного гиперспектральной системой детектирования, есть большой практический потенциал применения, в частности, в свекловодстве и свеклосеменоводстве:

1. HSI-агромониторинг обеспеченности посевов свеклы первого года жизни (фабричных или маточных) элементами минерального питания, в пер-

вую очередь азотом – известно, что при его недостатке снижается содержание хлорофилла в листьях и растения приобретают бледный цвет.

2. HSI-агромониторинг возникновения и распространения в посевах первого года жизни болезней листового аппарата, либо корневой системы, вызывающих изменение цвета листьев (пожелтение, побурение).

3. HSI-агромониторинг плантаций семенных растений сахарной свеклы с целью оперативной оценки степени созревания семян и принятия решения о начале уборки последних. В классических руководствах по семеноводству указано, что к уборке следует приступать, когда наблюдается побурение семян на 40-60 % семенных растений. Так как сроки созревания семян сахарной свеклы довольно растянуты во времени, часто на практике бывает трудно определить оптимальный момент начала уборки [2,3]:

- если запоздать – начинают осыпаться первые самые зрелые, и как правило, высококачественные, семена (потери могут достигать до 25-30 % урожая);

- если же начать слишком рано – в обмолоченный ворох попадают незрелые зеленые, недостаточно сформировавшиеся семена с пониженной всхожестью, ухудшающие качество всего урожая.

Особенно важно для производственных условий при наличии больших (несколько гектаров – десятков гектаров) семеноводческих полей, готовность к уборке которых часто может быть трудно оценить с земли и глазомером даже опытного агронома. При помощи гиперспектральной системы детектирования, установленной на динамической базе, и определенного программного обеспечения возможно будет достаточно быстро оценить в процентном отношении степень зрелости семян на том или ином поле (или части большого поля).

Таким образом, важными составляющими для эффективного управления системой «дистанционный детектор – поле – наблюдатель» являются правильный выбор детектирующей системы (разрешение, спектральная полосность и другие параметры), её правильное позиционирование как во временном, так и пространственном положении, сопоставление, как минимум, с микрорельефом поля, а также степень обученности наблюдателя для адекватной интерпретации данных на HSI-изображениях.

Список литературы

1. Михайленко, И. М. Оценивание параметров состояния биомассы корнеплодных культур по данным дистанционного зондирования Земли / И. М. Михайленко, В. Н. Тимошин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2025. – Т. 22, № 3. – С. 161-170. – DOI 10.21046/2070-7401-2025-22-3-161-170.
2. Роев, Р. Н. Биология семенных растений и особенности уборки семян гибридов сахарной свеклы / Р. Н. Роев, И. И. Бартенев, Д. С. Гаврин // Сахарная свекла. – 2023. – № 4. – С. 18-20. – DOI 10.25802/SB.2023.46.79.002.
3. Путилина, Л. Н. Формирование технологического качества корнеплодов сахарной свеклы под действием внекорневых подкормок / Л. Н. Путилина, Д. С. Гаврин, Н. Г. Кульнева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2020. – № 1. – С. 49-58.
4. How Can the Engineering Parameters of the NIR Grader Affect the Efficiency of Seed Grading? / T. P. Novikova, C. B. Mastrangelo, P. Tylek [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 2125. – DOI 10.3390/agriculture12122125.
5. Лебедев, А. В. Регрессионные модели смешанных эффектов в лесохозяйственных исследованиях / А. В. Лебедев, В. В. Кузьмичев // Сибирский лесной журнал. – 2021. – № 1. – С. 13-20. – DOI 10.15372/SJFS20210102.
6. VIS-NIR wave spectrometric features of acorns (*Quercus robur* L.) for machine grading / A. I. Novikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 392. – P. 012009. – DOI 10.1088/1755-1315/392/1/012009.

References

1. Mikhailenko, I. M. Estimating the parameters of the biomass state of root crops by remote sensing of the Earth / I. M. Mikhailenko, V. N. Timoshin // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. – 2025. – Vol. 22, No. 3. – pp. 161-170. – DOI 10.21046/2070-7401-2025-22-3-161-170.
2. Roev, R.N. Biology of seed plants and features of harvesting seeds of sugar beet hybrids / R.N. Roev, I. I. Bartenev, D. S. Gavrin // Sugar beet. – 2023. – No. 4. – pp. 18-20. – DOI 10.25802/SB.2023.46.79.002.
3. Putilina, L. H. Formation of technological quality of sugar beet root fruits under the action of foliar fertilizing / L. H. Putilina, D. S. Gavrin, N. G. Kulneva // Technologies of the Food and Processing Industry of the AIC – Healthy Food Products. – 2020. – No. 1. – Pp. 49-58.

4. How Can the Engineering Parameters of the NIR Grader Affect the Efficiency of Seed Grading? / T. P. Novikova, C. B. Mastrangelo, P. Tylek [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 2125. – DOI 10.3390/agriculture12122125.
5. Lebedev, A. V. Regression Models of Mixed Effects in Forestry Research / A. V. Lebedev, V. V. Kuzmichev // Siberian Forestry Journal. – 2021. – No. 1. – Pp. 13-20. – DOI 10.15372/SJFS20210102.
6. VIS-NIR wave spectrometric features of acorns (*Quercus robur* L.) for machine grading / A. I. Novikov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 392. – P. 012009. – DOI 10.1088/1755-1315/392/1/012009.

**HSI-АГРОМОНИТОРИНГ: К ВОПРОСУ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА
СЕГМЕНТАЦИИ ФОНОВЫХ ПИКСЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА РАЗНЫХ
ОПТИЧЕСКИХ ФОНАХ**

А.И. Новиков¹, С.В. Часовских¹, Т.П. Новикова²

¹Агрофизический научно-исследовательский институт

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

В работе предложены варианты выбора сегментации фоновых пикселей для дискретизации растительных объектов на разных оптических фонах, как первый этап обработки гиперспектральных снимков с целью дальнейшего изучения и анализа представленных данных

Ключевые слова: гиперспектральная съемка, агромониторинг, сегментирование, программное обеспечение.

**HSI-AGROMONITORING: ON THE QUESTION OF RATIONAL
SEGMENTATION OF BACKGROUND PIXELS FOR DETERMINING THE
PARAMETERS OF PLANT OBJECTS ON DIFFERENT OPTICAL
BACKGROUNDS**

A.I. Novikov¹, S.V. Chasovskih¹, T.P. Novikova²

¹Agrophysical Research Institute

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The paper proposes options for selecting background pixel segmentation for discretization of plant objects on different optical backgrounds, as the first stage of processing hyperspectral images for further study and analysis of the presented data.

Keywords: hyperspectral imaging, agromonitoring, segmentation, software.

Проведение агромониторинга с применением гиперспектральной съемки (HSI-агромониторинг) является сложной и актуальной задачей в условиях внедрения высоких технологий в сельское хозяйство. Агромониторинг актуален, как при экстенсивном, так и при интенсивном развитии сельскохозяйственного предприятия и служит маркером, определяющим эффективность внедрения тех или иных мер.

В данной работе не будет рассматриваться методика проведения HSI-агромониторинга, а будут предложены варианты выбора сегментации фоновых пикселей для дискретизации растительных объектов на разных оптических фонах, как первый этап обработки гиперспектральных снимков с целью дальнейшего изучения и анализа представленных данных.

Исходные данные: файлы в формате TIFF с изображениями свободно расположенных растительных объектов (семян) на разных оптических фонах.

Постановка задачи:

1. Сегментировать объекты, наложив маску по наиболее близкому контуру «объект – фон».
2. Нумеровать сегментированные объекты в заданном пользователем порядке (задается начальная цифра и порядок нумерации).
3. Сохранить каждую маску дискретного объекта, содержащую массив пикселей, в отдельный файл (предусмотреть несколько выходных форматов - TIFF, BMP, JPG; предусмотреть наименование файла в виде Основа - Номер, где Основа задается пользователем, а номер присваивается автоматически по п. 2.
4. Определить, какой оптический фон наиболее четко и полно выделяет маску объекта.

Варианты реализации поставленной задачи по выбору сегментации фоновых пикселей для дискретизации растительных объектов на разных оптических фонах:

1. В самом «простейшем» случае данную задачу можно решить, используя для сегментации адаптивный пороговый метод и алгоритм поиска связанных компонентов (BFS), а также провести анализ гистограммы фоновых пикселей для определения оптимального оптического фона. Но такое программное обеспечение (ПО) пишется «с нуля», временные рамки оценить сложно, а предсказать результат для нашего конкретного случая не представляется возможным.

Авторами ранее было разработано ПО для сегментации групповых изображений семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), полученных с помощью фотоаппарата или планшетного сканера [1,5], которое позволяло сегментировать изображение с заданными размерами на равные участки без учета контуров семян. Поставленная же в этой статье задача требует другого алгоритма сегментации и других программных средств для ее реализации.

2. Можно «упростить» задачу, используя уже готовые библиотеки (фреймворки) под F# в .NET, а именно:

- OpenCvSharp (рисунок 1);
- Emgu CV (.NET wrapper для OpenCV);
- ML.NET для машинного обучения;
- TensorFlow.NET для глубокого обучения;
- Accord.NET - комплексная библиотека компьютерного зрения.

Преимущества использования готовых библиотек:

- Высокая точность сегментации благодаря дополнительным алгоритмам.
- Оптимизация производительности (C++ бэкэнд).
- Богатый функционал морфологических операций, фильтров.
- Поддержка GPU для ускорения обработки.
- Активное сообщество и регулярные обновления.

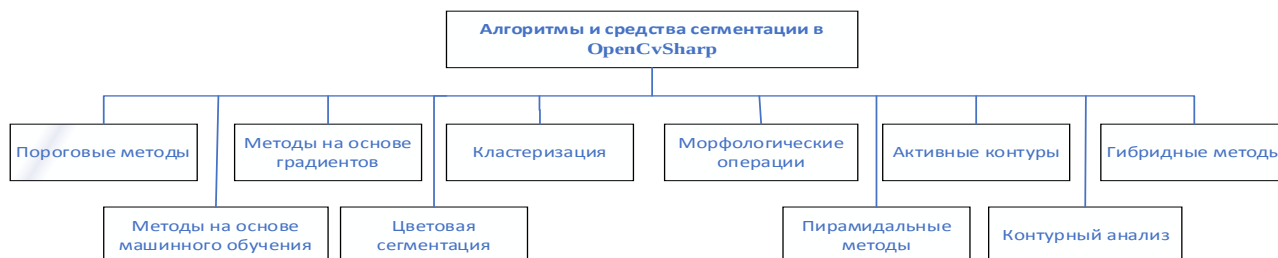


Рисунок 1 – Преимущества OpenCvSharp в сегментировании изображения

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать OpenCvSharp, который предоставляет все необходимые инструменты для качественной сегментации и работает очень эффективно в .NET среде. Решение рассмотренной задачи внесет значительный вклад в исследование экспресс-анализа семян [2-4].

Список литературы

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025610452 Российская Федерация. Seed Individual Segmentator : заявл.

07.12.2024 : опубл. 10.01.2025 / Т. П. Новикова, С. А. Евдокимова, А. И. Новиков ; заявитель ФГБОУ ВО "ВГЛТУ".

2. Новикова, Т. П. Исследование набора технологических операций подготовки семенного материала хвойных пород для лесовосстановления / Т. П. Новикова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 4(44). – С. 150-160. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13.

3. Патент № 2675056 C1 Российская Федерация, МПК B07C 5/00. Экспресс-анализатор качества семян : № 2018104941 : заявл. 08.02.2018 : опубл. 14.12.2018 / А. У. Альбеков, М. В. Драпалюк, С. С. Морковина [и др.] ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "ВГЛТУ".

4. Экспресс-анализ семян в лесохозяйственном производстве: теоретические и технологические аспекты / А. И. Новиков, М. В. Драпалюк, С. В. Соколов, Т. П. Новикова. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – 176 с.

References

1. Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2025610452, Russian Federation. Seed Individual Segmentator : applied for on December 7, 2024, published on January 10, 2025 / T. P. Novikova, S. A. Evdokimova, and A. I. Novikov ; applicant: VGLTU.

2. Novikova, T. P. Research of a set of technological operations for preparing coniferous seed material for reforestation / T. P. Novikova // Lesotekhnicheskyy Zhurnal. – 2021. – Vol. 11, No. 4(44). – Pp. 150-160. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/13.

3. Patent No. 2675056 C1, Russian Federation, IPC B07C 5/00. Express Seed Quality Analyzer : No. 2018104941 : filed on 08.02.2018 : published on 14.12.2018 / A. U. Albekov, M. V. Drapalyuk, S. S. Morkovina [et al.] ; applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Forestry University".

4. Express analysis of seeds in forestry production: theoretical and technological aspects / A. I. Novikov, M. V. Drapalyuk, S. V. Sokolov, and T. P. Novikova. – Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G. F. Morozov, 2022. – 176 p.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

С.И. Перов

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

В данной работе рассматриваются использование моделирование в сфере образования. Разбирается определение имитационного моделирования, анализируются принципы и алгоритмы построения таких систем. Особое внимание уделено применению моделей в различных сферах образования. А так же перспективы дальнейшего развития этого направления.

Ключевые слова: имитационное моделирование, моделирование в сфере образования, симуляторы, VR-технологии, AR-технологии, виртуальная реальность, симуляция.

SIMULATION MODELING IN THE FIELD OF EDUCATION

S.I. Perov

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

This paper discusses the use of modeling in the field of education. It provides an overview of the definition of simulation modeling and analyzes the principles and algorithms for building such systems. Special attention is given to the application of models in various fields of education. The paper also explores the prospects for further development in this area.

Keywords: simulation modeling, modeling in the field of education, simulators, VR technologies, AR technologies, virtual reality, and simulation.

Современный мир активно применяет цифровизацию во всех сферах. Одной из ключевых направлений является образование. Информационные технологии активно заполняют процесс обучения. Изменяется традиционный подход подачи информации и знаний студентов, что способствует получению практических навыков в виртуальной среде.

Одним из наиболее значимых направлений в этой сфере является имитационное моделирование. Оно является основой для современных тренажеров и симуляторов.

Такие модели помогают имитировать реальные процессы и ситуации в виртуальной среде, особенно это связано с такими направлениями, где получение реальных навыков опасно для здоровья, имеются риски для жизни или же высокая стоимость для оттачивания этих навыков.

Для начала рассмотрим, что такое имитационное моделирование. Имитационное моделирование – это создание компьютерных моделей, которые показывают поведение исследуемого объекта в различных ситуациях и условиях. Такие модели в отличие от математических или иных моделей, ориентированные на практическое воспроизведение объекта.

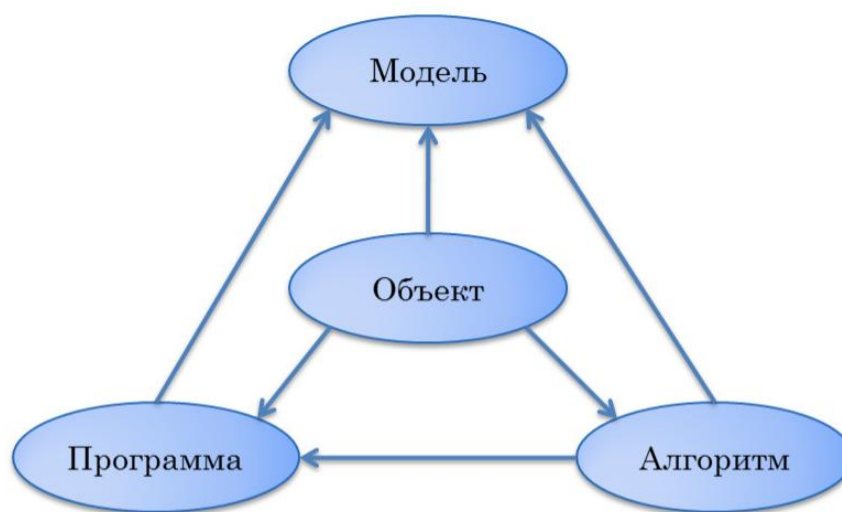


Рисунок 1 – компоненты имитационного моделирования

Существует несколько типов таких моделей:

- Дискретные модели (описывают изменения в определенный отрезок времени);
- Непрерывные модели (показывают изменение непрерывно);
- Агентные модели (симуляция поведения виртуальных «агентов», которые взаимодействуют между собой по каким либо инструкциям).

В сфере образования, модели позволяют не отслеживать процесс, а взаимодействовать с ним, принимая решения, от которого зависит последующие изменения.

Примером практических применений имитационного моделирования в образовательной сфере являются:

1. Студенты медицинских учебных заведений могут проводить операции, процедуры без риска для реальных пациентов;

2. Студенты, будущие летчики, летают в виртуальном симуляторе, это является обязательным этапом обучения;

3. Инженерия и химия. Появляется возможность работы в виртуальной лаборатории, где можно отследить реакции, процессы, исследовать механизмы, без рисков для жизни и здоровья;

4. Виртуальная реальность. Помогает получить практические навыки почти во всех сферах обучения.



Рисунок 2 – Пример симулятора

В основе построения имитационных моделей для образования применяются:

Дискретно-событийное моделирование. Применяется в сфере где требуется последовательность (алгоритм) определенных действий.

Агентное моделирование. Как говорилось ранее, используется для симуляции поведения людей или групп людей, с помощью виртуальных «агентов», например при отработке ЧС.

Машинное обучение и ИИ. Такой этап позволяет с помощью искусственного интеллекта подстроить симулятор под конкретного студента, по сложности выполнения.

Для реализации таких систем используются IT инструменты, такие как: Игровые движки, которые позволяют создать визуальную часть симулятора. Облачные технологии, так же используются в моделировании таких систем, для запуска сложных и ресурсо-затратных моделей. VR И AR технологии, обеспечивают погружение в виртуальную реальность.

В ближайшие годы, ожидается значительное повышение развития симуляторов для студентов образовательных учреждений. Наиболее вероятные направления развития, это конечно же использование искусственного интеллекта, с его помощью можно достичь индивидуального подхода к студенту. А так же VR-технологии, которые помогут максимально реалистично давать практические навыки для будущих специалистов разных отраслей.

Таким образом, имитационное моделирование занимает особое место в современной образовательной системе. Оно помогает не только передать теоретические знания и опыт студенту от преподавателей, но и научить практическим навыкам, что особенно важно в современном мире.

Список литературы

1. Пискунов А. И., Смирнов В. П. Имитационное моделирование образовательных процессов / Вестник современных исследований. – 2023. – № 12. – С. 88–95. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-obrazovatelnyh-protsessov> (дата обращения: 05.09.2025).
2. Николаев С. В. Цифровые технологии и имитационное моделирование в подготовке специалистов / Образование и наука. – 2022. – № 6. – С. 41–49. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-tehnologii-i-imitatsionnoe-modelirovanie-v-podgotovke-spetsialistov> (дата обращения: 05.09.2025).
3. Кравченко Д. А., Соловьёв И. В. Имитационные технологии в современном образовании: опыт и перспективы / Наука и инновации. – 2023. – № 5. – С. 29–37. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnye-tehnologii-v-sovremennom-obrazovanii> (дата обращения: 05.09.2025).
4. Виртуальные тренажёры и симуляторы в образовании / Edutainme. – URL: <https://edutainme.ru/post/virtual-training-simulators> (дата обращения: 05.09.2025).
5. Применение VR и AR-технологий в обучении / GeekBrains Blog. – URL: <https://gb.ru/blog/vr-ar-v-obrazovanii> (дата обращения: 05.09.2025).
6. Ушаков А. Н. Инновационные подходы в цифровом образовании: симуляторы и виртуальные лаборатории / Вестник образования и науки. – 2024. – № 2. – С. 55–63. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-podhody-v-tsifrovom-obrazovanii> (дата обращения: 05.09.2025).

References

1. Piskunov A. I., Smirnov V. P. Simulation Modeling of Educational Processes / Bulletin of Modern Research. – 2023. – No. 12. – Pp. 88-95. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-obrazovatelnyh-protsessov> (accessed: 05.09.2025).
2. Nikolaev S. V. Digital Technologies and Simulation Modeling in the Training of Specialists / Education and Science. – 2022. – No. 6. – Pp. 41-49. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-tehnologii-i-imitatsionnoe-modelirovanie-v-podgotovke-spetsialistov> (accessed: 05.09.2025).
3. Kravchenko D. A., Solovyov I. V. Imitation Technologies in Modern Education: Experience and Prospects / Science and Innovation. – 2023. – No. 5. – pp. 29-37. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnye-tehnologii-v-sovremennom-obrazovanii> (date of access: 09/05/2025).
4. Virtual simulators and simulators in education / Edutainme. – URL: <https://edutainme.ru/post/virtual-training-simulators> (date of request: 09/05/2025).
5. Application of VR and AR technologies in education / GeekBrains Blog. – URL: <https://gb.ru/blog/vr-ar-v-obrazovanii> (accessed: 05.09.2025).
6. Ushakov, A. N. Innovative approaches in digital education: simulators and virtual laboratories / Bulletin of Education and Science. – 2024. – No. 2. – Pp. 55–63. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-podkhody-v-tsifrovom-obrazovanii> (accessed: 05.09.2025).

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

С.И. Перов

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

В данной работе обзревается особенности современных облачных хранилищ, их возможности, принцип работы. Также затрагиваются плюсы и минусы использования облачных технологий и их перспективы дальнейшего развития в повседневной жизни.

Ключевые слова: облачные хранилища, облако, диски, облачные хранилища, информация, данные пользователя, диск.

CLOUD TECHNOLOGY AS A DATA STORAGE TOOL

S.I. Perov

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

This paper reviews the features of modern cloud storage systems, their capabilities, and the principle of their operation. It also discusses the advantages and disadvantages of using cloud technologies and their potential for further development in everyday life.

Keywords: cloud storage, cloud, disks, cloud storage systems, information, user data, disk.

Современный мир задал огромный темп роста объема информации современного человека. Практически каждый человек использует какие-либо данные, такие как рабочие файлы, личные фото или видео файлы, музыка, файлы которые нужны для учебы и т.п.

Существует исследование которое показывает, что количество и объем цифровой информации растет каждый день, что в течение нескольких лет это количество возрастает вдвое. Эти мощные темпы ставят вопрос: А где хранить все эти файлы? Несколько лет назад ответом на этот вопрос был бы – твердотельные носители, такие как жесткие диски, флешки, SSD, а еще более раннее

дискеты, CD и DVD диски, однако это не всегда надежно и соответствует всем требованиям пользователя. Ведь существуют риски поломки таких носителей, потери или кражи, а так же ограниченный объем этих носителей. Для этого появились облачные хранилища, пользователи стали активнее использовать их. Рассмотрим особенности таких носителей.

Понятие «облако» впервые появилось в начале 21 века, первыми компаниями которые предложили хранение данных в удаленных ресурсах. Так появился сервис от известного гиганта Amazon, которую назвали AWS(Amazon Web Service). В последующем времени это стали развивать дальше, так как сервис получил большую популярность. Таким образом появились всеми известные облачные хранилища, как Google Drive, Яндекс.Диск, iCloud и другие. Эти компании дали расширенные возможности своим пользователям. Например появилась возможность получить доступ к своим файлам с нескольких устройств удаленно, возможность редактировать в реальном времени, появилась синхронизация.



Рисунок 1 – Облачные технологии

Принципом работы таких сервисов является следующее: обычный пользователь выгружает данные в облако, далее данные сохраняются на серверах представителя услуг, эти данные проходят этап шифрования, для повышения безопасности и надежности. И последний этап этого цикла – пользователь получает доступ к своим файлам после авторизации в свой аккаунт облака.

Примерами таких хранилищ являются:

Google Drive, пользователь получает 15 ГБ бесплатно, а так же возможность синхронизации с Google Docs и других дочерних сервисов.

iCloud – это сервис от всеми известной и любимой компании Apple, система сразу же преднастроена на смартфонах Iphone, и автоматически хранит фото, заметки, и файлы пользователей.

Яндекс.Диск – это отечественный сервис который работает аналогичным образом что и гугл драйв. А так же сервис синхронизируется с Яндекс.Почтой.

One Drive, облако от компании Microsoft, работает с преимущественно с файлами MS Office.



Рисунок 2 – Облачные хранилища

Облачные хранилища делятся на:

- Общедоступные (или публичные), выше перечисленные компании.
- Приватные (частные облака). Разрабатываются внутри конкретного предприятия или компании, доступ к которому имеют только сотрудники компании.
- Смешанные (гибридные). Применяются как приватные так и общедоступные технологии.

Существенными плюсами такого способа хранения информации являются:

- Общедоступность. Любой пользователь может зарегистрироваться, создать свой «диск» и загрузить свои файлы, а после чего из любой точки мира воспользоваться ими.
- Возможность совместного редактирования файлов. Дать доступ своим напарникам для манипуляций с данными облака.
- Гибкость использования. Имеется возможность за оформление платной подписки, увеличить объем своего носителя.
- Использование шифрования. Повышается безопасность личной информации.

– Своего рода экономия возможной затраченной памяти на твердотельных носителях.

Недостатками таких носителей так же имеются, но они не такие существенные. Во первых: без подключения к сети интернет, в режиме офлайн не получится использовать информацию.

Во вторых, риск утечки данных или Ddos- атак хранилища. Даже крупные компании, сталкивались с этим.

Третий минус – это ограниченный объем носителя в бесплатном доступе.

В ближайшем будущем, темпы развития облачных технологий будут только улучшаться, будет интегрироваться ИИ, использоваться более надежные технологии шифрования, для повышения безопасности, развитие государственных хранилищ, применение в умных домах, смартфонах и так далее.

Таким образом, можно сказать, что облачные хранилища, это не только удобный способ хранения, но и будущий фундамент для ИС. Даже не смотря на существующие проблемы, которые оперативно решаются.

Список литературы

1. Ташпулатов О. А. Преимущества и недостатки использования облачных технологий / CyberLeninka. – 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/advantages-and-disadvantages-of-using-cloud-technologies> (дата обращения: 05.09.2025).

2. Асири Н. Проблемы безопасности и конфиденциальности в облачных хранилищах / arXiv. – 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2401.04076> (дата обращения: 05.09.2025).

3. Облачные технологии простыми словами: виды и области применения / CyberProtect. – URL: <https://cyberprotect.ru/blog/cloud-technologies> (дата обращения: 05.09.2025).

4. Облачное хранение данных: преимущества и недостатки для бизнеса / ITTelo. – URL: <https://www.ittelo.ru/news/oblachnoe-khranenie-dannykh-preimushchestva-i-nedostatki-dlya-biznesa> (дата обращения: 05.09.2025).

5. Облачные технологии: обзор, виды, сферы применения / GeekBrains Blog. – URL: <https://gb.ru/blog/oblachnye-tekhnologii> (дата обращения: 05.09.2025).

6. Облачные хранилища данных: типы, функции и назначения / 1cloud.ru. – URL: <https://1cloud.ru/blog/oblachnoe-hranilische> (дата обращения: 05.09.2025).

References

1. Tapulatov O. A. Activities and lack of use of international technology / CyberLeninka. – 2022. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/advantages-and-disadvantages-of-using-cloud-technologies> (accessed: 05.09.2025).
2. Asiri N. Security and unity issues in the international community / arXiv. - 2024. - URL: <https://arxiv.org/abs/2401.04076> (accessed on 05.09.2025).
3. Public technologies for spreading words: types and application possibilities / Cybersecurity. – URL: <https://cyberprotect.ru/blog/cloud-technologies> (date of access: 09/05/2025).
4. International cooperation: interests and publications for business / ITTelo. – URL: <https://www.ittelo.ru/news/oblachnoe-khranenie-dannykh-preimushchestva-i-nedostatki-dlya-biznesa> (date of access: 09/05/2025).
5. General technologies: overview, types, sulfur applications / GeekBrains blog. – URL: <https://gb.ru/blog/oblachnye-tehnologii> (date of request: 09/05/2025)
6. Basic concepts: types, functions and values / 1cloud.ru .

ЦИФРОВЫЕ КАРТЫ И НАВИГАЦИОННЫЕ СЕРВИСЫ

С.И. Перов, А.В. Толкачев

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

В данной работе рассматриваются роли цифровых навигационных систем в повседневной жизни человека. Преимущества и недостатки таких систем. Внедрение систем цифровой навигации в области доставки роботами-доставщиками. Перспективы развития систем навигации.

Ключевые слова: цифровые карты, навигационные системы, робот-доставщик, спутник, GPS, карты, маршрут.

DIGITAL MAPS AND NAVIGATION SERVICES

S.I. Perov, Tolkachev A.V.

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

This paper discusses the role of digital navigation systems in everyday life. The advantages and disadvantages of such systems. The implementation of digital navigation systems in the field of delivery by delivery robots. The prospects for the development of navigation systems.

Keywords: digital maps, navigation systems, delivery robot, satellite, GPS, maps, route.

В наше современное время жизнь без информационных систем невозможно представить. Они вошли почти во все сферы жизнедеятельности человека. Одной из таких востребованных сфер является сфера навигации человека. Трудно представить, что какой-то среднестатистический человек откроет бумажную карту и будет строить свой маршрут согласно этим картам. Конечно же он возьмет в руки смартфон, зайдет в все известные приложения, в поиске пропишет адрес и найдет всю информацию которая ему нужна.

Рассмотрим роль цифровых карт в повседневной жизни человека более подробно, а также выделим плюсы и минусы этих систем, и перспективы развития в дальнейшем.

Основными возможностями систем навигации являются:

- Прокладка маршрута из точки А в точку Б, для преодоления этого пути как пешком так и на транспорте, будь то личный авто, такси, автобус и т.п.
- Мониторинг ситуации на дорогах. Пробки, ДТП или иные изменения на дорогах.
- Поиск информации о городских объектах, частных и коммерческих организаций.
- Система отзывов о том или ином объекте города.
- Интеграция с другими системами, такими как заказ такси, бронирование гостиницы, заправка авто на АЗС и т.д.

Такие системы работают следующим образом: собираются данные со спутников, фотографий, панорам, а также данные пользователя. Определяется местоположение пользователя с помощью GPS и WIFI. Далее после построения пользователем маршрута, система подбирает оптимальный путь, анализирует дорожную ситуацию, и после подбирает пользователю наиболее оптимальный путь.

Явными преимуществами применения таких систем существенно изменило жизнь человека. Стало проще и удобнее найти нужную информацию, сократить время на поиски. Любой человек имея практически любой смартфон может воспользоваться цифровыми картами. Таким образом, цифровые карты стали отличным помощником человека, в путешествиях, учебе, работе, безопасности.

Наиболее популярными картами являются: Яндекс.Карты, Google Maps, 2GIS, Apple Maps, они со схожими возможностями, но у каждого есть свои преимущества и недостатки, эти компании активно конкурируют, что в свою очередь повышает качество приложений с каждым месяцем.

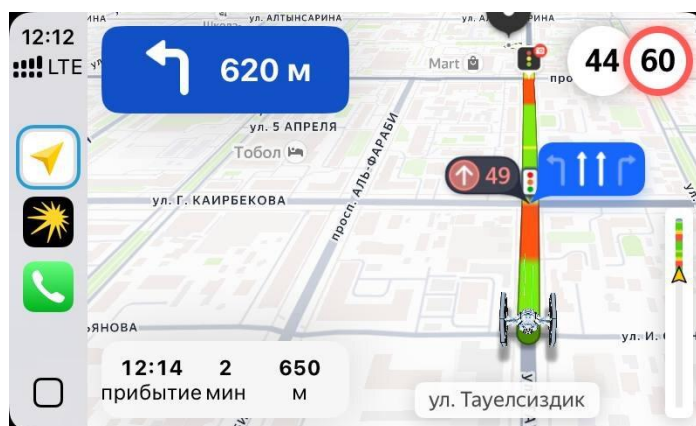


Рисунок 1 – Пример интерфейса

Но также и есть недостатки:

- Работа цифровых карт прямо зависит от наличия интернета на смартфоне. Да, конечно можно скачать офлайн карту области в которой находится пользователь, но работа с такими картами будет существенно ограничена, чем с наличием интернет соединения.
- Как и любая система, цифровая навигация может давать сбои и ошибки. Ошибочно прокладывая маршрут, объезжая несуществующие проблемы на дорогах или тротуарах.
- При использовании система требует геолокацию пользователя, что повышает риск утечки его персональных данных.
- Пожалуй самый распространенный минус почти любой информационной системы которая упрощает жизнь человека, это то что человек перестает ориентироваться и думать самостоятельно без применения цифровых карт.

Одним из наиболее перспективных и интересных направлений развития, является беспилотный транспорт.

Роботы доставщики , которые без помощи человека доставляют тот или иной груз от точки А, в точку Б используя эту же систему GPS, камеры и сенсоры. На основе собранной информации, ИИ принимает решение о дальнейшем пути робота, анализирует ситуацию на дороге, возможные препятствия на пути робота, сигналы светофором и др.



Рисунок 2 – Робот доставщик

Внедрение таких технологий открывают новые возможности. Роботы помогают в экономии усилий и наличия работников, выполняя доставку еды. Особенно для людей с ограниченными возможностями или просто занятых людей. Такие системы помогут снизить городскую нагрузку и улучшить качество окружающей среды.

Перспективами цифровых карт в будущем, являются интеграция искусственного интеллекта и виртуальной реальности. Уже сегодня активно ведется внедрение этих систем в цифровые карты. К примеру, есть сервисы которые с помощью виртуальной реальности накладывают прямо на улицу изображение указателя (стрелки) которая показывает путь. Кроме того активно развивается беспилотный транспорт в основном для сферы доставки, который без этих самых карт работать не может.

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 (дата обращения: 04.09.2025)
2. Дубровский, А. В., & Середович, С. В. (2024). Цифровые навигационные карты в структуре РИПД. Моделирование систем и процессов, 17(3), 71–79. URL: <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2024-69-77> (дата обращения: 04.09.2025)
3. Епанова, Ю. В., Запорожец, О. Н., & Лапина-Кратасюк, Е. Г. (2024). Цифровая навигация в городской среде: возможности и вызовы. Городские ин-

формационные системы, 10(2), 45–58. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2779629> (дата обращения: 04.09.2025)

4. Швандар, Д. В. (2023). Перспективы применения беспилотного транспорта в России. Экономика и бизнес, 42(ECOR123), 1–10. URL: <https://resources.today/PDF/42ECOR123.pdf> (дата обращения: 04.09.2025)

5. Беспилотные транспортные средства, оснащённые системами искусственного интеллекта: проблемы правового регулирования. (2024). Журнал правовых исследований, 15(4), 112–125. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bespilotnye-tranportnye-sredstva-osna-schyonnye-sistemami-iskusstvennogo-intellekta-problemy-pravovogo-regulirovaniya> (дата обращения: 04.09.2025)

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 (accessed: 04.09.2025)

2. Dubrovsky, A. V., & Seredovich, S. V. (2024). Digital navigation maps in the structure of RIPD. Modeling of Systems and Processes, 17(3), 71–79. URL: <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2024-69-77> (accessed: 04.09.2025)

3. Yepanova, Yu. V., Zaporozhets, O. N., & Lapina-Kratasyuk, E. G. (2024). Digital Navigation in the Urban Environment: Opportunities and Challenges. Urban Information Systems, 10(2), 45–58. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2779629> (accessed: 04.09.2025)

4. Shvandar, D. V. (2023). Prospects for the Use of Unmanned Transport in Russia. Economics and Business, 42(ECOR123), 1–10. URL: <https://resources.today/PDF/42ECOR123.pdf> (accessed: 04.09.2025)

5. Unmanned vehicles equipped with artificial intelligence systems: legal regulation issues. (2024). Journal of Legal Research, 15(4), 112–125. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bespilotnye-tranportnye-sredstva-osna-schyonnye-sistemami-iskusstvennogo-intellekta-problemy-pravovogo-regulirovaniya> (accessed: 04.09.2025)

АВТОМАТИЗАЦИЯ БЫТОВЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ИТ-ТЕХНОЛОГИЙ. УМНЫЙ ДОМ

С.И. Перов, Д.В. Арапов

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

В данной работе рассматривается понятие «умного дома», как с помощью ИТ-технологий можно автоматизировать бытовые процессы. Принцип и алгоритм работы системы, компоненты системы. Плюсы и минусы установки такой системы, а также перспективы дальнейшего развития системы «умного дома».

Ключевые слова: умный дом, система, управление домом, смартфон, ИТ-технологии, Smart Home, голосовой помощник.

AUTOMATION OF HOUSEHOLD PROCESSES USING IT TECHNOLOGIES. SMART HOME

S.I. Perov, D. V. Arapov

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

This paper discusses the concept of a "smart home" and how IT technologies can be used to automate household processes. It also explains the principle and algorithm of the system, as well as its components. The paper highlights the advantages and disadvantages of installing such a system, as well as the prospects for further development of the "smart home" system.

Keywords: smart home, system, home automation, smartphone, IT technologies, Smart Home, voice assistant.

В современном мире без ИТ-технологий сейчас никуда. Они изменили все сферы человеческой жизни, от медицины и образования до финансов. В последнее время, все больше людей создавая свой домашний уют и удобства, все чаще обращают внимание на автоматизацию казалось бы обычных бытовых действий, таких как выключить свет, включить какую нибудь музыкальную

композицию, закрыть окна с помощью жалюзи и т.п, все это люди пытаются упростить с помощью средств которые помогут это сделать. Делается это для повышения комфорта, безопасности и энергоэффективности своего жилища.

Само понятие «умный дом», гласит так: совокупность технических механизмов и программных решений, которые помогают автоматизировать операции по управлению бытовыми объектами, и инженерными коммуникациями.

В системе умный дом (Smart Home) все устройства объединены в единую «экосистему», которые управляются специальным ПО установленном на смартфоне. Пользователь кликнув на кнопку управления на своем телефоне, получает возможность управления светом, контролировать отопление, управлять бытовой техникой и т.д.



Рисунок 1 – Система «умный дом»

Для реализации такой системы в доме или ином помещении необходимы следующие компоненты:

1. Датчики контроля температуры, влажности, движения, освещения и т.д
2. Устройства исполнения для включения света, регулировки температуры отопления, управление приборами.
3. Контроллер. Связующее звено между датчиками и ПО на смартфоне.
4. Программное обеспечение, приложения голосовые ассистенты, такие как Алиса, Siri, Google Assistant и тд. Служать для управления системой
5. Интернет соединение, которое необходимо для удаленного управления системой.

Эксперты ставят прогноз, что эти системы будут все больше и больше развиваться и внедряться в повседневную жизнь людей, так как активно развивается искусственный интеллект. С помощью ИИ, голосовые помощники не только будут выполнять простые команды, но и предугадывать потребности людей, на основе машинного обучения, а так же стоимость на оборудование будет заметно снижена, что приведет к все большей популярности среди людей.

Алгоритм работы системы умный дом:

- Сбор данных (датчики фиксируют параметры среды в доме);
- Передача информации по Wi-Fi или Bluetooth на шлюз;
- Контроллер обрабатывает полученную информацию;
- Система принимает решение в зависимости от сценариев, например если датчик света уловил что стало темно, включается свет.
- Далее сигнал отправляется на конечные устройства которые выполняют команд;
- Уведомление пользователя о проделанных действиях системы в виде смс или push-уведомлений.



Рисунок 2 – Схема системы «умного дома»

Проблемами и минусами внедрения такой системы в дом являются:

1. На данный момент высокая стоимость установки, так как еще система не имеет массовую потребность.
2. Прямая зависимость от интернет соединения.
3. Угрозы взлома системы и доступа к устройствам злоумышленниками.
4. Несовместимость устройств. Не каждый прибор или устройство на данный момент имеет возможность управления удаленно.

Постепенно эти проблемы будут решены, технологии не стоят на месте, но на данный момент это актуальные проблемы.

Плюсами такой системы являются:

Во-первых – это комфорт и современное решение. Управление всеми приборами с смартфона.

Во-вторых, повышение общей безопасности как своей квартиры, так и дома в целом. В случае забытого включенного утюга или воды в ванной, достаточно нажать одну кнопку.

В третьих – это возможность интегрировать дополнительные устройства в любое время в уже готовую систему.

Таким образом, система повышает качество и комфорт жизни. Умный дом является отличным примером как информационные технологии могут существенно улучшить безопасность. Несмотря на существенные проблемы, развитие данной сферы информационных технологий продолжается и будет только совершенствоваться. Так, система умного дома в будущем станет неотъемлемой частью жизнедеятельности человека.

Список литературы

1. Иванов А. В. Технологии «умного дома» и их применение в быту / Информационные системы и технологии. – 2023. – № 4. – С. 55–62. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-umnogo-doma-i-ih-primenenie-v-bytu> (дата обращения: 05.09.2025).

2. Обзор технологий «умного дома» и Интернета вещей / GeekBrains Blog. – URL: <https://gb.ru/blog/umnyy-dom-i-internet-veschey> (дата обращения: 05.09.2025).

3. Облачные и IoT-решения для систем «умного дома» / CyberProtect. – URL: <https://cyberprotect.ru/blog/smart-home-iot> (дата обращения: 05.09.2025).

4. Умный дом: принципы работы, возможности и перспективы / 1cloud.ru. – URL: <https://1cloud.ru/blog/smart-home> (дата обращения: 05.09.2025).

5. Кравченко Д. А., Соловьёв И. В. Перспективы развития технологий «умного дома» в России / Наука и инновации. – 2022. – № 7. – С. 34–41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-umnogo-doma-v-rossii> (дата обращения: 05.09.2025).

6. Умный дом: безопасность и киберугрозы для пользователей / ITTelo. – URL: <https://www.ittelo.ru/news/umnyy-dom-bezopasnost> (дата обращения: 05.09.2025)

References

1. Ivanov, A. V. Smart Home Technologies and Their Application in Everyday Life / Information Systems and Technologies. – 2023. – No. 4. – pp. 55-62. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-umnogo-doma-i-ih-primenenie-v-bytu> (date of access: 09/05/2025).
2. Overview of smart home technologies and the Internet of Things / GeekBrains Blog. – URL: <https://gb.ru/blog/umnyy-dom-i-internet-veschey> (accessed: 09/05/2025).
3. Cloud and IoT solutions for Smart Home systems at home" / CyberProtect. – URL: <https://cyberprotect.ru/blog/smart-home-iot> (date of application: 09/05/2025).
4. Smart home: principles of operation, opportunities and prospects / 1cloud.ru . – URL: <https://1cloud.ru/blog/smart-home> (date of reference: 09/05/2025).
5. Kravchenko D. A., Solovyov I. V. Prospects for the development of smart home technologies in Russia Russia / Science and Innovation. – 2022. – No. 7. – Pp. 34–41. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-umnogo-doma-v-rossii> (accessed: 05.09.2025).
6. Smart Home: Security and Cyber Threats for Users / ITTelo. – URL: <https://www.ittelo.ru/news/umnyy-dom-bezopasnost> (accessed: 05.09.2025)

**ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
DASHBOARDING В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ГИБКОЙ ЧЕРЕПИЦЫ)**

Е.В. Подольский

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

Аннотация: В работе анализируется применение дашбордов в промышленности, с акцентом на производстве гибкой черепицы. Рассмотрены ключевые метрики для ежедневного контроля, выявлены преимущества интеграции систем dashboarding в производственные процессы.

Ключевые слова: дашборды, визуализация данных, производство гибкой черепицы, производственные процессы, KPI, ключевые метрики производства.

**ADVANTAGES AND FEATURES OF DASHBOARDING APPLICATION IN
INDUSTRY (USING THE EXAMPLE OF BITUMEN SHINGLES)
PRODUCTION)**

E.V. Podolskiy

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

Abstract: The paper analyzes the use of dashboards in industry, with an emphasis on the production of flexible roof tiles. The key metrics for daily monitoring are considered, the advantages of integrating dashboarding systems into production processes are revealed.

Keywords: dashboards, data visualization, flexible tile production, production processes, KPIs, key production metrics.

В эпоху цифровизации промышленности всё чаще возникает потребность в оперативном и наглядном контроле ключевых метрик производства. Как спе-

циалисты, так и руководители предприятий, сталкиваются в режиме нон-стоп с задачами повышения эффективности, снижения издержек и предотвращения простоев. Так называемые дашборды (панели мониторинга) становятся надёжным инструментом в этой работе.

Дашборд – это интерактивная аналитическая панель, графический интерфейс, на одном экране которого, расположены все ключевые метрики процессов, обновляющиеся в реальном времени [1]. На основе этих метрик внутренних функционал дашбордов позволяет осуществлять интеллектуальный анализ данных, например создавая прогноз состояния данных метрик [2].

Производственный дашборд - визуальный инструмент, который в режиме реального времени отображает ключевые показатели эффективности (KPI) производственных процессов. Он помогает быстро принимать решения, анализировать тенденции и фиксировать отклонения [3].

Производство гибкой черепицы - это не просто конвейер, это непрерывный технологический процесс. Температура битума, скорость линии, точность нарезки, равномерность посыпки гранулятом - десятки параметров, от которых зависит, получится ли на выходе качественный продукт или тонны брака.

В этих условиях производственные дашборды - это рабочий инструмент, который ежедневно помогает принимать решения здесь и сейчас. Визуализация данных позволяет действовать на опережение, видеть «узкие места» до того, как они остановят всю линию, и понимать, куда на самом деле уходят ресурсы.

Раньше мастер смены, чтобы понять полную картину, должен был обойти пульт управления основной линией, заглянуть в лабораторию за результатами тестов на прочность, уточнить на складе остатки гранулята нужного цвета и свериться с планом в 1С. С дашбордом всё это оказывается на одном экране.

Вся ключевая информация - на одной панели. Все важные показатели - от температуры в битумном котле до процента брака за последние часы - доступны на одном экране и обновляются в реальном времени.

Данные становятся понятны каждому. Красный график температуры битума, вышедший за пределы нормы, или растущий столбик брака на линии нарезки понятны без слов.

Ручная сводка данных уходит в прошлое. Система сама автоматически собирает информацию из всех нужных источников: АСУ ТП производственной линии, 1С, файлов Excel с графиками смен. Это высвобождает время инженеров и технологов для решения реальных проблем, а не для подготовки отчетов.

Если что-то пошло не так, система тут же подсветит отклонения. Например, если вес квадратного метра черепицы вышел за допуски, или на линии посыпки заканчивается гранулят нужного цвета.

Хороший дашборд отвечает на три вопроса:

- Что происходит сейчас на производстве?
- Есть ли отклонения от плана?
- Требуются ли срочные действия? [4].

Ключевые метрики для ежедневного контроля производства гибкой черепицы.

1. OEE (Overall Equipment Effectiveness / Общая эффективность оборудования).

Один из самых универсальных показателей, включающий доступность оборудования, производительность и качество продукции. Снижение OEE может сигнализировать о перебоях в поставках, износе техники или росте брака.



Рисунок 1 – Пример дашборда по OEE

2. Отклонения от производственного плана.

Дашборд должен в реальном времени показывать, сколько квадратных метров или пачек черепицы конкретного артикула уже произвели и сколько ос-

талось до выполнения сменного задания. Если фактический выпуск отстает, сразу видно, на сколько, и можно оперативно принять меры.

3. Уровень брака и причины дефектов.

Критически важно фиксировать не просто «процент брака», а его конкретные виды: «пузыри» на полотне, непрокрас, слипание гонтов в пачке, неправильная геометрия нарезки. Визуализация помогает связать тип дефекта с конкретным участком линии: проблема в котле с битумом? Или изнашивались ножи на режущем станке?

4. Себестоимость квадратного метра продукции.

Этот показатель позволяет в реальном времени видеть, насколько эффективно расходуются самые дорогие компоненты: битум, стеклохолст, гранулят, а также газ на горелках. Резкий рост себестоимости - повод немедленно проверить настройки оборудования и технологические режимы.

5. Мониторинг состояния оборудования.

Данные с датчиков позволяют отслеживать не только технологические параметры, но и «здоровье» самой техники.

Например, рост температуры и вибрации редуктора на линии нарезки будет отображен на дашборде заранее. Это даст службе главного механика время организовать плановое обслуживание и избежать аварийной остановки всей линии, которая обойдется в сотни тысяч рублей убытков.

6. Визуализация производственных потоков.

Графическое представление цикла - от поступления сырья до отгрузки. Это помогает:

- видеть узкие места;
- контролировать перемещение полуфабрикатов;
- оценивать нагрузку на каждом участке.

Всё больше предприятий внедряют мобильные версии панелей. Это особенно важно для руководителей смен, техников и менеджеров, которые не всегда находятся за компьютером.

С мобильным дашбордом возможно:

- получать уведомления о внештатных ситуациях;
- отслеживать статус линий в реальном времени;
- проводить быстрые совещания прямо в цехе с актуальными данными.

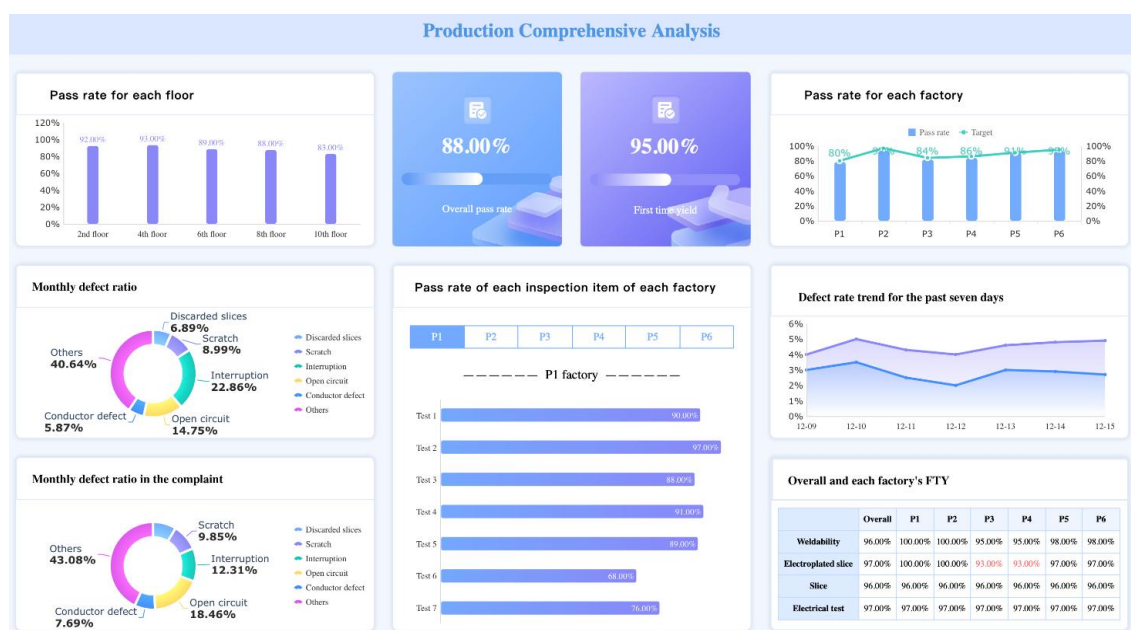


Рисунок 2 – Пример комплексного производственного дашборда

Таким образом, dashboarding на производстве гибкой черепицы выступает как важный инструмент цифрового управления, позволяющий повысить эффективность, качество продукции и снизить издержки за счет оперативного контроля и анализа производственных процессов.

Список литературы

1. Буряков И.Т. Дашборд: приемы эффективной визуализации / ИТ. Буряков, Е.В. Зубкова // ВІ-технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов цифровой экономики: материалы IX Международной научно-практической очно-заочной конференции, Екатеринбург, 02 декабря 2021 года / Отв. за выпуск: А.Ю. Коковихин, Н.М. Сурнина, отв. редактор В.В. Городничев. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2022. – С. 63-65.
2. Атаев С.Т. Роль аналитических панелей и инструментов визуализации данных в эффективном управлении производительностью // Флагман науки. - 2025. - № 1(24). - С. 1-10.
3. Визуализация в бережливом производстве: инструменты и методы // Sky.pro. - URL: <https://sky.pro/wiki/analytics/vizualizatsiya-v-berezhlivom-proizvodstve-instrumenty-i-metody/?ysclid=mgxh4wpi2r949811043> (дата обращения: 17.10.2025).

4. Типовые производственные дашборды: что нужно отслеживать ежедневно // FanRuan - 2025. - 08 сент. - URL: <https://fanruan.ru/blog/tipovye-proizvodstvennye-dashbordy-chto-nuzhno-otslezhivat-ezhednevno> (дата обращения: 16.10.2025).

5. Приходько Т. М. Разработка системы анализа и визуализации производственных данных / Т. М. Приходько, Г. В. Макаров // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : Сборник докладов XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием, Екатеринбург, 18–19 мая 2023 года. – Екатеринбург, 2023. – С. 221-226.

6. Федин К. А. Визуализация промышленных интеллектуальных данных и симуляция работы умных производственных систем на базе игровых движков для планирования и управления современным производством / К. А. Федин, Е. А. Воронин // 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. 497-499.

7. Беспалов Ю. В. Дашборд - помощник руководителя / Ю. В. Беспалов, А. В. Посаженникова, Г. Лусине // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2023. – Т. 12, № 12(141). – С. 22-28.

References

1. Buryakov I.T. Dashbord: priemy effektivnoy vizualizatsii / I.T. Buryakov, E.V. Zubkova // BI-tehnologii i korporativnye informatsionnye sistemy v optimizatsii biznes-protssessov tsifrovoy ekonomiki: materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy ochno-zaochnoy konferentsii, Ekaterinburg, 02 dekabrya 2021 goda / Otv. za vypusk: A.Yu. Kokovikhin, N.M. Surnina, otv. redaktor V.V. Gorodnichev. – Ekaterinburg: Ural'skiy gosudarstvennyy ekonomicheskii universitet, 2022. – S. 63-65.

2. Ataev S.T. Rol' analiticheskikh paneley i instrumentov vizualizatsii dannykh v effektivnom upravlenii proizvoditel'nost'yu // Flagman nauki. - 2025. - № 1(24). - S. 1-10.

3. Tipovye proizvodstvennye dashbordy: chto nuzhno otslezhivat' ezhednevno // FanRuan - 2025. - 08 сент. - URL: <https://fanruan.ru/blog/tipovye-ezhednevno>

proizvodstvennye-dashbordy-chto-nuzhno-otslezhivat-ezhednevno (data obrashcheniya: 16.10.2025).

4. Vizualizatsiya v berezhlivom proizvodstve: instrumenty i metody // Sky.pro. - URL: <https://sky.pro/wiki/analytics/vizualizatsiya-v-berezhlivom-proizvodstve-instrumenty-i-metody/?ysclid=mgxh4wpi2r949811043> (data obrashcheniya: 17.10.2025).

5. Prihod'ko T. M. Razrabotka sistemy analiza i vizualizatsii proizvodstvennykh dannykh / T. M. Prihod'ko, G. V. Makarov // Teplotekhnika i informatika v obrazovanii, nauke i proizvodstve : Sbornik dokladov XI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchyonykh s mezhdunarodnym uchastiem, Ekaterinburg, 18–19 maya 2023 goda. – Ekaterinburg, 2023. – S. 221-226.

6. Fedin K. A. Vizualizatsiya promyshlennykh intellektual'nykh dannykh i simulyatsiya raboty umnykh proizvodstvennykh sistem na baze igrovykh dvizhkov dlya planirovaniya i upravleniya sovremennym proizvodstvom / K. A. Fedin, E. A. Voronin // Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologiy i informatsionnoy bezopasnosti : Sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Taganrog, 10–15 aprelya 2023 goda. – Taganrog: Yuzhnyy federal'nyy universitet, 2023. – S. 497-499.

7. Bespalovu. V. Dashbord - pomoshchnik rukovoditelya / Yu. V. Bespalov, A. V. Posazhennikova, G. Lusine // Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. – 2023. – T. 12, № 12(141). – S. 22-28.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧАГА ПОЖАРА В СОСНОВОМ ЛЕСУ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВОЗГОРАНИЯ

А.В. Полуэктов, А.И. Заревич, Ф.В. Макаренко, А.В. Сухарский

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

В данной статье представлен комплексный анализ моделирования очага пожара в сосновом лесу с использованием современных программных средств: AnyLogic, FDS (Fire Dynamics Simulator), Wildfire Urban Interface (WUI) моделей и GIS-платформ (QGIS, ArcGIS). Исследование фокусируется на влиянии начальных условий возгорания — типа источника (молния, человек, самовозгорание), времени года, влажности топлива, скорости ветра и рельефа — на динамику распространения огня. Работа демонстрирует, как интеграция различных инструментов моделирования позволяет разрабатывать адаптивные стратегии тушения, оптимизировать размещение пожарных постов и прогнозировать критические зоны риска.

Ключевые слова: моделирование лесного пожара, сосновый лес, пожарная опасность, AnyLogic, FDS, GIS, начальные условия возгорания, тушение пожара, гибридные модели, динамика распространения огня, пожарная безопасность, численное моделирование, огневой барьер, авиационное тушение, влажность топлива, скорость ветра, интеграция моделей.

MODELING OF A FIRE SOURCE IN A PINE FOREST UNDER DIFFERENT FIRE CONDITIONS

A. V. Poluektov, A. I. Zarevich, F. V. Makarenko, A.V. Sukharsky

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

This article presents a comprehensive analysis of modeling a fire source in a pine forest using modern software tools: AnyLogic, FDS (Fire Dynamics Simulator), Wildfire Urban Interface (WUI) models and GIS platforms (QGIS, ArcGIS). The study focuses on the impact of the initial

fire conditions - the type of source (lightning, human, spontaneous combustion), the time of year, fuel humidity, wind speed, and terrain-on the dynamics of fire propagation. The work demonstrates how the integration of various modeling tools makes it possible to develop adaptive extinguishing strategies, optimize the placement of fire stations, and predict critical risk zones.

Keywords: forest fire simulation, pine forest, fire hazard, AnyLogic, FDS, GIS, initial fire conditions, fire extinguishing, hybrid models, fire propagation dynamics, fire safety, numerical modeling, fire barrier, aviation extinguishing, fuel humidity, wind speed, model integration.

Одним из основных бедствий в сосновых лесах Сибири, Канады и Скандинавии являются пожары, причем их последствия являются самими разрушительными для экологии местности. Они приводят к гибели экосистемы, выбросам CO_2 , уничтожению инфраструктуры и человеческим жертвам, так согласно данным Всемирного банка, ежегодно в мире выгорает более 10 млн га леса, из которых 60% представляют собой сосновые насаждения. Опасность соснового леса, с точки зрения пожарной опасности, заключается в высокой горючести хвойного топлива и низкой влажностью подстилки.

Поэтому для анализа пожарной опасности необходимо использовать не только традиционные методы прогнозирования пожаров (например, индекс пожарной опасности Ротермеля), но и проводить индивидуальные математические прогнозы с учетом динамики взаимодействия огня с рельефом, ветром и человеческим фактором. Рассмотрим современные подходы моделирования лесных пожаров и проведем пример построения компьютерной модели с использованием гибридной модели построенной в программе AnyLogic. Наиболее распространёнными подходами к моделированию пожара являются:

- физические модели — основаны на решении уравнений Навье–Стокса, теплопроводности и химической кинетики, что позволяет детально моделировать пламя, дым, конвекцию;
- агрегированные модели — описывают скорость распространения огня через формулы, основанные на свойствах топлива, ветре и уклоне;
- гибридные модели — сочетают непрерывные процессы (распространение огня) с дискретными событиями (включение тушения, перемещение пожарных);
- GIS-модели — используют цифровые модели рельефа, карты леса, метеоданные для пространственного анализа рисков;

Выбранная нами методика построения компьютерной модели на основе программы AnyLogic заключается по следующим характеристикам — быстрая,

визуально понятная, управляемая система, идеально подходящая для обучения, сценарного анализа и принятия решений.

Построение любой модели строится на основе исходных данных и математической модели процесса. Поэтому для моделирования очага пожара в сосновом лесу возьмем два типа данных – неизменные параметры (таблица 1) и изменяемые условия возникновения пожара (таблица 2).

Таблица 1 – Неизменные условия модели

Элемент	Характеристика
Участок соснового леса, площадь	100×100 га (500×500 м в масштабе моделирования)
Рельеф	уклон 5–15°, экспозиция южная (наиболее засушливая)
Топливо	
Хвойные иглы (0–5 см), горючесть	0.85
Сухая подстилка (5–15 см), горючесть	0.92
Кустарник (15–50 см), горючесть	0.78
Метеопараметры:	
Ветер	2–10 м/с (в направлении северо-восток)
Влажность топлива	10%, 20%, 30%
Температура	+25°C
Относительная влажность воздуха	40%

Таблица 2 – Изменяемые условия возникновения пожара, начальные условия возгорания и их влияние на динамику пожара

Условие	Вариант	Влияние на скорость распространения
Источник возгорания	Молния	Медленный старт, но высокая температура — 2000°C
	Человеческий фактор (курение, костёр)	Быстрый старт, но низкая температура — 600–800°C
	Самовозгорание (сухая подстилка)	Случайный, но предсказуемый по влажности
Время года	Июнь (влажно)	Скорость: 0.5 м/мин
	Август (сухо)	Скорость: 3.2 м/мин (+540%)
Влажность топлива	10%	Скорость: 3.0 м/мин
	20%	Скорость: 1.8 м/мин (-40%)
	30%	Пожар не распространяется (гаснет)
Скорость ветра	2 м/с	Скорость: 1.1 м/мин
	5 м/с	Скорость: 3.8 м/мин (+245%)
	10 м/с	Скорость: 8.5 м/мин (+673%)
Уклон	0°	Базовая скорость
	10° (южный склон)	Ускорение на 40–60%

В качестве наиболее опасных условий выбраны июль-август т.к. влажность <15%, ветер >7 м/с, южный склон.

Для описания физической модели распространения огня будем использовать математическую модель Ротермеля (Rothermel, 1972), адаптированную для дискретной сетки. При этом будем считать, что исходный лесной массив разбит на ячейки и анализ будем проводить по трем параметрам.

Уравнение скорости распространения огня в ячейке

$$R = \frac{q_{in} \cdot \eta}{\rho \cdot H \cdot \Delta H}$$

где q_{in} — тепловой поток от предыдущих ячеек (кВт/м²), η — коэффициент эффективности (зависит от ветра и уклона), ρ — плотность топлива (кг/м³), H — теплота сгорания (кДж/кг), ΔH — тепловая инерция топлива (кДж·с^{0.5}/м²).

Коэффициент эффективности η

$$\eta = \eta_0 \cdot f_w \cdot f_s$$

где $\eta_0=1.0$ — базовый коэффициент, $f_w=1+0.015 \cdot W$ — влияние ветра (W — скорость в м/с), $f_s=1+0.005 \cdot S$ — влияние уклона (S — угол в градусах)

Распространение огня между ячейками основан на предположении, что огонь распространяется в 8 направлениях (включая диагонали) и вероятность возгорания соседней ячейки равна

$$P_{ignite} = \min(1, \frac{R \cdot \Delta t}{cellSize} \cdot fuelFactor)$$

где $\Delta t=0.5$ сек — шаг моделирования, $cellSize = 10$ м — размер ячейки, $fuelFactor$ — коэффициент горючести (0.7–0.95). Если $P_{ignite} >$ случайное число $[0,1]$ → ячейка загорается.

Общая архитектура модели пожара была представлена в AnyLogic 8 и построена как гибридная (hybrid) модель, объединяющая три уровня (таблица 3), что позволила одновременно воспроизводить физику распространения огня, управлять стратегиями тушения, визуализировать процесс в реальном времени.

Таблица 3 – Модель процесса

Уровень	Тип модели	Описание
Непрерывный уровень	Continuous Fluid / Differential Equations	Моделирование распространения огня как непрерывного процесса по пространству, основанное на физике горения (модель Ротермеля).
Дискретно-событийный уровень	Event-Based / Statechart	Управление источниками возгорания, действиями тушения(пожарные посты, вертолёты),переключением сценариев.
Агентный уровень	Agent-Based	Моделирование движения пожарных бригад и пожарных машин как автономных агентов, реагирующих на изменения в среде.

Что в свою очередь позволило в модели проверить изменение распространения огня в зависимости от различных алгоритмов тушения с целью нахождения оптимальной стратегии проведения работ на пожаре (таблица 4).

Таблица 4 – Алгоритмы тушения пожара

Метод	Реализация в модели
Огневой барьер	При нажатии btnCreateFirebreak— пользователь проводит линию по сетке. Все ячейки на линии получают fuelMoisture = 99%, isBurning = false, isBurned = true— негорючая полоса.
Авиационное тушение	При нажатии btnDeployAircraft— создаётся агент Helicopter, который летит к очагу и в течение 10 сек снижает fireIntensity на 80% в радиусе 30 м вокруг точки сброса.
Пожарные бригады	Агент FireTeam перемещается по кратчайшему пути к ближайшей горячей ячейке. При прибытии — в течение 20 сек снижает fireIntensity на 50% в своей ячейке.
Автоматическое тушение	Если toggleAutoTactics == true— система:

Нами были проведены 4 сценария моделирования (таблица 5). Которые показали, что наиболее эффективными способами тушения пожара являются огневой барьер и авиационное тушение. И «стимулирующими» ускорение огня будут – участок леса на склоне и "прыжки" через барьеры при сильном ветре, а дополнительными факторами для затухания будут – высокая влажность и огневые барьеры.

Таблица 5 – Сценарии моделирования

Сценарий	Действие	Эффективность (снижение площади пожара)	Время тушения
Без тушения	Только природное затухание	0%	120 мин
Огневой барьер	Выжигание полосы 50 м впереди огня	72%	85 мин
Водяной барьер	Размещение резервуаров у рек	45%	105 мин
Авиационное тушение	2 вертолёт, 5000 л воды/вылет	68%	75 мин
Комбинированный	Барьер + вертолёт + посты	78%	68 мин

Таким образом, проводя моделирование с указанными исходными данными, которые были взяты из экспериментальных данных по сибирским лесам (2021–2023 гг.), при ветре 6 м/с, влажности 15% — скорость распространения и

скорости распространения пожара 2.8–3.1 м/мин полученная модель дала результат в 2.9 м/мин, что соответствует условиям погрешности. Результаты моделирования и анализ представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты моделирования и анализ

Условие	Площадь выгорания (га)	Время до 50% выгорания (мин)
Ветер 2 м/с, влажность 30%	1.2	110
Ветер 5 м/с, влажность 15%	38.7	28
Ветер 10 м/с, влажность 10%	89.5	15
+ огневой барьер	21.3	42
+ авиация	28.1	37
+ оба метода	19.5	34

Графики распространения огня показывают, что:

- при ветре >7 м/с — огонь «прыгает» через барьеры (эффект «прыгающего огня»);
- при влажности $>25\%$ — даже при сильном ветре пожар затухает.
- огневые барьеры рекомендуется создавать не только впереди, но и по периметру (особенно вдоль рек и дорог).

Снижение площади выгорания на 70–80% возможно при комбинированном применении огневых барьеров и авиационного тушения, особенно при раннем обнаружении.

Список литературы

1. Перминов, В. А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров: специальность 01.02.05 "Механика жидкости, газа и плазмы": диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Перминов Валерий Афанасьевич. – Томск, 2010. – 282 с. – EDN QEXLVT.

2. Особенности математического моделирования динамики температурного режима пожара с учетом движения воздушных потоков / А. В. Калач, А. П. Паршина, Е. В. Калач, Д. И. Сотников // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 25 октября 2019 года. – Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирская пожарно-спасательная академия" Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий", 2019. – С. 251-258. – EDN XZOLUX.

3. Грачев, Е. В. Математическое моделирование процессов лесных пожаров / Е. В. Грачев, К. С. Иванов // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2012. – № 1(1). – С. 16-26. – EDN NXCJBV.

4. Барановский, Н. В. Математическое моделирование воздействия фронта лесного пожара на ограждающие конструкции деревянного здания в сельском населенном пункте / Н. В. Барановский, С. А. Галаутдинова, А. О. Малинин // Пожаровзрывобезопасность. – 2024. – Т. 33, № 3. – С. 22-36. – DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.03.22-36. – EDN JKTNTQ.

5. 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. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-7-15. – EDN ECSUWP.

References

1. Perminov V. A. Matematicheskoe modelirovanie vozrozhdeniya verkhovykh i massovykh lesnykh pozharov: speciality 01.02.05 "Mekhanika zhidkosti, gaza i plasmy": dissertation for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences / Valery Afanasievich Perminov. - Tomsk, 2010. - 282 p. - EDN QEXLVT.
2. Kalach A.V., Parshina A. P., Kalach E. V., Sotnikov D. I. Osobennosti matematicheskogo modelirovaniya dinamiki temperaturnogo rezhima pozhara s uchetom dvizheniya vozdukhnykh potokov [Features of mathematical modeling of the dynamics of the temperature regime of fire taking into account the movement of air flows]. Monitoring, modeling and forecasting of dangerous natural phenomena and emergency situations: Collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Zheleznogorsk, October 25, 2019. - Zheleznogorsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian Fire and Rescue Academy" of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Management of the Russian Federation", 2019. - pp. 251-258. - EDN XZOLUX.
3. Grachev E. V., Ivanov K. S. Matematicheskoe modelirovanie protsessov lesnykh pozharov [Mathematical modeling of forest fire processes]. – 2012. – № 1(1). – Pp. 16-26. - EDN NXCJBV.
4. Baranovskiy, N. V. Mathematical modeling of the impact of the front of a forest fire for enclosing structures of wooden buildings in rural village / N. V. Baranovsky, S. A. Galiautdinov, A. Malinin // Fire and explosion protection. - 2024. - Vol. 33, No. 3. - pp. 22-36 – - DOI 10.22227/0869-7493.2024.33.03.22-36. – EDN JKTNTQ.
5. Asadov Kh. 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.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ САПР

О.А. Рожкова, Д.Е. Орлова

ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России

В работе приводятся рассуждения на тему роли информационной безопасности при использовании САПР. Приводится классификация известных уязвимостей и проводится их анализ: выявляются причины возникновения указанных уязвимостей, потенциальные риски последствия. На основе проведенного анализа делается вывод о мерах, которые необходимо использовать при работе с САПР, касаясь безопасности информации.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, информационная безопасности, уязвимость, угроза данных, защита данных.

ENSURING INFORMATION SECURITY WHEN USING CAD

O.A. Rozhkova, D.E. Orlova

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia

The paper discusses the role of information security when using CAD. It provides a classification of known vulnerabilities and analyzes them, identifying the causes of these vulnerabilities and potential risks. Based on this analysis, the paper concludes on the measures that should be taken when working with CAD in terms of information security.

Keywords: computer-aided design system, information security, vulnerability, data threat, data protection.

Обеспечение информационной безопасности (ИБ) становится критически важным аспектом в условиях современной геополитической ситуации. Особенно это относится к тем отраслям промышленности, где используют системы автоматизированного проектирования (САПР). САПР, как отмечает CNews, "больше всего востребован в строительстве и смежных отраслях... компьютер заменил кульман, поэтому везде, где раньше чертили на бумаге, теперь рисуют при помощи клавиатуры и мыши"[1].

Современные САПР – критические информационные активы. В них заключается интеллектуальная собственность, модели изделий, конструкторская документация, спецификация, а также лицензии. Все это формирует задачу эффективной системы защиты информации.

В настоящий момент доступ россиян к иностранным САПР затруднен. Ключевые зарубежные разработчики САПР, такие как Autodesk, Siemens DIS, Dassault Systemes Solidworks, покинули российский рынок, прекратив продажу новых лицензий и поддержку существующих пользователей. Данный факт открывает возможности для развития отечественных решений, однако влечет за собой риски. Они возникают в результате того, что любая утечка или компрометация конфиденциальной информации (конструкторская документация, технологические процессы, результаты моделирования и анализа), обрабатываемой в САПР, может привести к серьезным экономическим потерям, нарушению конкурентоспособности, а в некоторых случаях – и к угрозе национальной безопасности.

Целью нашего исследования является выявление и анализ угроз информационной безопасности, связанных с использованием САПР, и разработка рекомендаций по мерам защиты для минимизации рисков.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) классифицировать угрозы ИБ, возникающие при использовании САПР;
- 2) проанализировать возникающие последствия указанных угроз и оценить наносимый ущерб для предприятия;
- 3) разработать рекомендаций по организации системы защиты информации в САПР.

Нам удалось классифицировать угрозы безопасности информации при использовании САПР следующим образом:

- 1) угрозы, связанные с уязвимостями САПР;
- 2) угрозы, связанные с вредоносным программным обеспечением (ВПО);
- 3) угрозы, связанные с хранением и передачей данных;
- 4) угрозы, связанные с человеческим фактором.

Более детально рассмотрим каждый пункт.

Угрозы, связанные с обработкой файлов.

Сложные форматы файлов (DWG, DXF, STEP, IGES и др.), с которыми работают САПР, могут привести к ряду ошибок при парсинге: например, переполнение буфера, выполнение произвольного кода и др. Так, уязвимость библиотеки «adem2d.dll» системы автоматизированного проектирования ADEM CAD/CAM/CAPP вызвана выходом операции за границы буфера в памяти. Это позволяет злоумышленнику изменить данные адресного пространства программы, что может привести к нарушению целостности пользовательских данных.

Кроме того, на этапе разработки архитектуры или концепции системы уже могут возникнуть уязвимости, такие как использование слабых протоколов аутентификации, неправильная модель управления доступом или отсутствие фильтрации.

Устаревшие или неподдерживаемые версии программ также повышают риск успешных атак. Это связано с тем, что такие программные средства уязвимы к известным эксплойтам. Более того, устаревшее программное обеспечение сложнее тестировать, исправлять, а также оно может быть несовместимо с различными файлами.

Для снижения выявленных угроз целесообразно реализовать комплекс защитных мер. Необходимо создать каталог версий САПР и сопутствующих элементов. Для предотвращения возможности наличия вредоносных программ, вшитых в обновления, необходимо проводить тесты программ в изолированной среде перед внедрением обновлений. В качестве мер несанкционированного доступа к интерфейсам, следует строить контроль доступа по принципу наименьших привилегий, а также устанавливать многофакторную аутентификацию для пользователей и администраторов. В целях снижения потерь и повышения устойчивости требуется контроль целостности файлов и регулярные аудиты изменений на уровне конфигураций и инфраструктуры.

Угрозы, связанные с вредоносным программным обеспечением.

Злоумышленники могут внедрять вредоносный код в файлы САПР. При открытии такого файла вредоносный код выполняется на компьютере пользователя. Например, известны случаи, когда группировка Librarian Ghouls рассылает вредоносные архивы RAR с поддельными документами в формате .SCR. Если жертва открывает такой файл, то вредоносный код может быть внедрен в скрипты, макросы или другие встроенные элементы файлов САПР. Кроме самих файлов, вредоносный код может содержаться в плагинах и расширениях для САПР.

В качестве защиты против вредоносных программ, организации должны формировать комплекс мер кибербезопасности на уровне конечных точек и серверов. Здесь важную роль играет контроль запускаемых исполняемых файлов. Из этого следует необходимость внедрения списка предварительно одобренных объектов (белый список). Дополнительно требуется проверка кода и способов его внедрения. Кроме того, централизованные журналы и механизмы реагирования на инциденты позволят также снизить риски внедрения вредоносных программ.

Угрозы, связанные с хранением и передачей данных:

Данный тип угроз может возникнуть в следствие незащищенного хранения файлов САПР на локальных дисках и сетевых ресурсов. В таком случае данные имеют риск стать недоступными или поврежденными в виду программных сбоев при записи или аппаратных неисправностей (отказ жёсткого диска, скачки напряжения).

Кроме того, использование сетевых ресурсов САПР вызывает угрозу несанкционированного доступа злоумышленников к данным: контроль над окружением сети хранения, использование встроенного программного обеспечения для удалённой атаки на другие узлы сети, несанкционированное подключение к каналам с подменой адресов.

Необходимо уделять особое внимание к передаче данных по незащищенным каналам связи. Данная угроза проявляется в виде физического подключения злоумышленника к сети или использование им уязвимостей сетевых протоколов. Например, протокол маршрутизации BGP (Border Gateway Protocol) используется для обмена информацией о маршрутах между автономными системами в интернете. Уязвимости в этих протоколах позволяют злоумышленнику перенаправлять трафик через свои системы или перехватывать данные.

Для снижения рисков, связанных с хранением и передачей, данные в САПР должны быть зашифрованы и обеспечено надёжное резервное копирование с

шифрованием копий, хранение их в защищённых средах и регулярную проверку восстановления.

Угрозы, связанные с человеческим фактором.

Одни из самых распространенных угроз по нашему мнению. Причинами возникновения могут быть недостаточная осведомленность, приводящая к совершению ошибок при работе с данными САПР; использование слабых паролей и другие нарушение установленных политик безопасности.

Внедрение системного обучения сотрудников и повышение осведомлённости в области кибербезопасности снизит риски угроз, связанных с человеческим фактором. Следует формализовать процессы своевременной деактивации доступа и ясные политики использования внешних сервисов и носителей, так как права доступа должны соответствовать изменениям в должностях. Наконец, необходим мониторинг поведения пользователей и обнаружение подозрительных действий в сети.

В завершение отметим, что использование систем автоматизированного проектирования требует системного подхода к информационной безопасности.

На основании анализа сформулированы ключевые направления повышения информационной безопасности при работе с САПР: управление версиями, изолированное тестирование обновлений; контроль доступа к интерфейсам на основе принципа наименьших привилегий с детальным аудитом; регулярные аудиты, мониторинг и процедура реагирования на инциденты; обучение персонала и формирование культуры безопасности; а также непрерывное повышение уровня защищённости через измеримые метрики и циклическое улучшение.

Реализация указанных мер должна проводиться с учётом соответствия международным и отраслевым стандартам (ISO/IEC 27001) и адаптации под конкретную САПР организации. Это позволит снизить вероятность киберинцидентов, минимизировать последствия атак, а также сохранить конкурентную интеллектуальную собственность.

Список литературы

1. С.news – Информационные технологии завтра. – URL: <https://cnews.ru/link/n603956> (дата обращения: 04.10.2025).
2. ФСТЭК России – Федеральная служба по транспортному и экспортному контролю: информационно-поисковая система. – URL: <https://bdu.fstec.ru/vul/2020-00708> (дата обращения: 04.10.2025).

3. Академия Selectel — Образовательное пространство. URL: <https://selectel.ru/blog/vulnerabilities/> (дата обращения: 06.10.2025).
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2021. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования // АО «Кодекс» (дата обращения: 06.10.2025).
5. Сальников, К. А. Информационная безопасность в САПР / К. А. Сальников, Д. С. Мищенко // Молодежь и системная модернизация страны : Сборник научных статей 9-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 15–16 мая 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 121-124.

References

1. C.news – Information Technologies of Tomorrow. URL: <https://cnews.ru/link/n603956>. Accessed: 4 Oct 2025.
2. FSTEC of Russia – Federal Service for Technical and Export Control: Information and Search System. URL: <https://bdu.fstec.ru/vul/2020-00708>. Accessed: 4 Oct 2025.
3. Selectel Academy – Educational Space. URL: <https://selectel.ru/blog/vulnerabilities/>. Accessed: 6 Oct 2025.
4. GOST R ISO/IEC 27001-2021. Information Technology. Security Techniques. Information Security Management Systems. Requirements. JSC "Kodeks". Accessed: 6 Oct 2025.
5. Salnikov, K. A.; Mishchenko, D. S. Information Security in CAD. In: Youth and Systemic Modernization of the Country: Proceedings of the 9th International Conference of Students and Young Scientists. In 5 volumes, Kursk, May 15–16, 2025. Kursk: JSC "University Book" (Universitetskaya kniga), 2025, P. 121–124.

DOI: 10.58168/PPSPM2025_338-344

УДК 004:636.034

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОЛОЧНОМ ЖИВОТНОВОДСТВЕ

С.С Сулько, А.В. Акименко

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

Аннотация: в статье представлен обзор инновационных решений в сфере информатизации и автоматизации молочного животноводства. Рассмотрены примеры использования роботов и вычислительной техники в различных технологических процессах на молочных фермах. Подчеркнута важность развития отечественных цифровых технологий, применяемых в животноводстве.

Ключевые слова: молочное животноводство, животноводческая ферма, информационная технология, программное обеспечение, персональный компьютер.

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN DAIRY FARMING

S.S. Sulko, A.V. Akimenko

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

Abstract: the article provides an overview of innovative solutions in the field of informatization and automation of dairy farming. Examples of the use of robots and computing equipment in various technological processes on dairy farms are considered. The importance of developing domestic digital technologies used in animal husbandry is noted.

Keywords: dairy farming, livestock farm, information technology, software, personal computer.

Инновационные технические средства активно задействованы в различных сферах сельского хозяйства, включая молочное животноводство.

Информатизация технологических процессов является одним из основных направлений деятельности компаний, производящих оборудование для молочных ферм: GEA Farm Technologies (Германия), DeLaval (Швеция), Lely (Нидерланды) и т.д.

За эффективное функционирование современного животноводческого предприятия отвечает единая информационная система, основу которой составляет персональный компьютер, оснащенный специализированным программным обеспечением. Компьютер обеспечивает управление подключенным к нему технологическим оборудованием, а так же сбор данных о физиологических показателях животных, режимах работы оборудования и т.д.

Используя специальное мобильное приложение, фермер может управлять своим хозяйством с помощью смартфона.

Животные, содержащиеся на ферме, имеют электронные ошейники (рис. 1), посредством которых производится их идентификация.



Рисунок 1 – Корова с электронным ошейником

Приготовление и раздача кормов являются важными технологическими процессами, которые предоставляют широкие возможности для реализации передовых технических решений.

Успешно внедряется автоматизированное кормление животных с использованием кормораздатчиков-роботов (рис. 2). Кормовая смесь готовится кормовой кухне, управляемой компьютером. Робот-кормораздатчик по установленному маршруту в автоматическом режиме транспортирует готовую кормосмесь из кухни в животноводческое помещение и равномерно распределяет ее между животными. Ориентация робота в пространстве осуществляется с помощью ультразвуковых датчиков.



Рисунок 2 – Робот-кормораздатчик Lely Vector

Прогрессивным средством автоматизации кормления животных являются индивидуальные кормовые станции, также управляемые с помощью ПЭВМ. Дозирование корма в автоматических кормовых станциях производится строго в соответствии с рационом, назначенным каждому конкретному животному.

Информация о количестве потребляемого корма и ежесуточных привесах поступает в компьютер, формируя подробные отчеты по всем животным.

Потеря аппетита, малые суточные привесы, их отсутствие или снижение массы животных могут быть признаками патологических состояний, о которых система оперативно информирует пользователя. Раннее выявление заболеваний способствует их быстрому и эффективному лечению.

Программное обеспечение для управления животноводческой фермой позволяет так же рассчитывать оптимальные рационы для всех категорий животных и потребность фермы в кормах.

Технологии машинного доения коров за последние годы достигли значительного прогресса, практически, вытеснив ручной труд.

Специальные контроллеры управляют процессом доения, переключая режимы работы доильных аппаратов в зависимости от интенсивности молокоотдачи (рис. 3).



Рисунок 3 – Устройства управления доением GEA

Наиболее совершенные модели доильных установок оснащены доильными роботами (рис. 4), которые автоматически устанавливают доильные стаканы на вымя коровы перед началом доения и так же автоматически снимают их после окончания сеанса.

Непосредственно на доильных постах устанавливаются терминалы вывода данных, которые в режиме реального времени отображают наиболее важную информацию о процессе доения и сигнализируют о сбоях и неисправностях.

Данные о разовых (суточных) надоях по каждой корове регулярно сохраняются в памяти компьютера в виде таблиц или графиков, отображая изменение продуктивности животного в течение периода лактации.

Выявление периодов охоты (готовности к оплодотворению) у коров так же осуществляется с использованием компьютерных технологий.

Согласно исследованиям, оптимальный промежуток времени между началом охоты и осеменением коровы составляет 8-16 часов. Поэтому, своевременное выявление охоты является залогом успешного оплодотворения коров, и, в конечном счете, способствует эффективному воспроизводству стада.

Во время охоты возрастает двигательная активность животного. **Датчик активности**, закрепленный на индивидуальном ошейнике коровы, регистрирует ее движения и передает соответствующие сигналы по радиоканалу на **приемное устройство**, подключенное непосредственно к ПЭВМ. Таким образом, данные об активности каждой коровы вводятся в компьютер.



Рисунок 4 – Доильные роботы GEA (вверху) и Lely (внизу)

Следует отметить, что коровы отличаются друг от друга особенностями поведения, поэтому невозможно констатировать наличие или отсутствие охоты у каждой коровы по каким-либо конкретным (общим для всех животных) значениям показателей активности.

С учетом этого, принят индивидуальный подход к мониторингу половой активности каждой особи, основанный на сравнении физической активности одной и той же коровы в различные периоды времени.

Наблюдение за поведением животных ведется ежедневно и круглосуточно. Когда частота движений конкретной особи возрастает по сравнению с предшествующим периодом, система распознает это, как наступление охоты и оповещает рабочий персонал фермы. Кроме того, изменение двигательной активности каждого животного во времени, наглядно отображается в виде диаграмм на экране компьютера. Таким образом, фермер может своевременно отслеживать начало охоты у коров по данным диаграммам.

Вышеприведенный обзор показывает, что технологии, используемые в молочном животноводстве, интенсивно развиваются, но ведущая роль в этом направлении принадлежит зарубежным компаниям.

Тем не менее, обращают на себя внимание и отечественные разработки, которые, в основном, включают программное обеспечение для управления молочным стадом.

Проекты «Молоко 2.0» от РЦ Плино, «Musoft» от Агроинтеллект, «M-Complex» от М-Комплекс Софт представляют собой современные IT-решения для комплексного управления технологическими процессами на молочных фермах.

В настоящее время проблема замещения зарубежных разработок российскими аналогами становится особенно актуальной, и поэтому, создание современных технологий и оборудования, а так же многофункциональных программных средств управления животноводческими фермами, является приоритетной задачей, стоящей перед российскими специалистами.

Список литературы

1. C.News. В России пишут ПО для управления крупным рогатым скотом на замену иностранному софту. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2024-06-20_v_rossii_pishut_po_dlya_upravleniya (дата обращения 15.10.2025).
2. Musoft. Система управления стадом Мусофт. – URL: <https://musoft.ru/> (дата обращения 15.10.2025).
3. ВИАТЭК. Робот-кормораздатчик Lely Vector – URL: <https://viatekgroup.com/robot-kormorazdatchik-lely-vector/?ysclid=m6fk0fflw0207751841> (дата обращения 09.10.2025).
4. М-комплекс. Комплексное решение для управления фермой – URL: <https://m-complex.org/> (дата обращения 15.10.2025).
5. Мещерякова, А.А. Разработка автоматизированной системы управления мобильным роботом / А.А. Мещерякова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 73-84.
6. ТД Галактика. Система роботизированного доения DairyRobot R9500 от компании GEA. – URL: <https://tdgalactica.ru/product/dairyrobotr9500/> (дата обращения 09.10.2025).

References

1. C.News. Cattle management software is being developed in Russia to replace foreign software. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2024-06-20_v_rossii_pishut_po_dlya_upravleniya (date of access 15.10.2025).
2. Musoft. Musoft herd management system. – URL: <https://musoft.ru/> (date of access 15.10.2025).
3. VIATEK. Lely Vector feed dispenser robot – URL: <https://viatekgroup.com/robot-kormorazdatchik-lely-vector/?ysclid=m6fk0fflw0207751841> (date of access 09.10.2025).
4. M-complex. A comprehensive solution for farm management – URL: <https://m-complex.org/> (date of access 15.10.2025).
5. Meshcheryakova, A.A. Development of an automated control system for a mobile robot / A.A. Meshcheryakova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – Pp. 73-84.
6. Galaktika Trading House. The DairyRobot R9500 robotic milking system from GEA. – URL: <https://tdgalactica.ru/product/dairyrobotr9500/> (date of access 09.10.2025).

СЕКЦИЯ 3

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

DOI: 10.58168/PPSPM2025_345-351

УДК:004.9

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Е.С. Ильин, А.Н. Потапов

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

Аннотация: в статье подробно рассматриваются современные подходы к оценке работоспособности радиотехнического оборудования. Особое внимание уделяется трем основным направлениям исследований: компьютерному моделированию, лабораторным и натурным испытаниям.

Ключевые слова: методы испытаний РЭУ, компьютерное моделирование, лабораторные измерения, натурные испытания, электромагнитная совместимость, радиолокационные системы, спутниковые ретрансляторы.

METHOD SFOREVAL UATINGTHE EFFICIENCY OF RADIOENGINEERING DEVICES

E.S. Ilyin, A.N. Potapov

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

Abstract: The article provides a detailed examination of modern approaches to assessing the operational efficiency of radio engineering equipment. Particular attention is given to three main research areas: computer simulation, laboratory testing, and field trials.

Keywords: RED testing methods, computer modeling, laboratory measurements, field testing, electromagnetic compatibility, radar systems, satellite transponders.

Для комплексной оценки работоспособности радиотехнических систем применяется ряд специализированных методик, позволяющих получить достоверные данные об их эксплуатационных характеристиках. Эти подходы включают как теоретические расчеты, так и практические испытания.

Компьютерное моделирование занимает важное место в современных исследованиях. Использование специализированного программного обеспечения (ANSYS HFSS, Altium Designer, AWR Microwave Office) позволяет проводить виртуальные испытания оборудования на этапе проектирования. Электромагнитное моделирование методом конечных элементов дает возможность анализировать параметры антенных систем без изготовления физических прототипов. Численные методы расчета помогают оптимизировать топологию печатных плат и согласующих цепей [1].

В современной инженерной практике цифровое моделирование стало неотъемлемой частью процесса создания радиоэлектронных устройств. Такой подход к проектированию открывает новые возможности для анализа и оптимизации технических решений на всех стадиях разработки - от первоначальной концепции до серийного производства.

Среди наиболее востребованных программных продуктов для электромагнитного анализа следует отметить пакеты HFSS от Ansys, CST Microwave Studio и FEKO компании Altair. Данные программные комплексы используют различные численные алгоритмы для решения фундаментальных уравнений электродинамики, что особенно важно при работе со сложными радиочастотными компонентами. Метод конечных элементов, реализованный в этих программах, обеспечивает детальное исследование полевых характеристик в трехмерных структурах любой конфигурации.

При проектировании антенных устройств виртуальные испытания дают возможность получить точные данные о пространственном распределении излучения, коэффициенте направленного действия и согласовании с фидерной линией. В области СВЧ-техники подобные расчеты помогают найти оптимальные параметры волноводных трактов и согласующих устройств, что существенно снижает энергетические потери. При разработке печатных плат для высокочастотных применений особое внимание уделяется анализу паразитных наводок и учету особенностей используемых диэлектрических материалов.

Совмещенное моделирование, объединяющее анализ распределенных электромагнитных процессов с моделированием дискретных компонентов, представляет особый интерес для разработчиков. Такой комплексный подход

учитывает реальные характеристики электронных компонентов и их взаимное влияние в составе конечного устройства. Современные САД-системы поддерживают полный цикл проектирования, включая выпуск всей необходимой технической документации [2].

Практическая значимость цифрового моделирования особенно очевидна при создании сложных радиотехнических комплексов. В радиолокационной технике оно помогает выбрать оптимальную конфигурацию фазированных антенных решеток и оценить влияние конструктивных элементов на рабочие характеристики. При разработке телекоммуникационного оборудования такие методы позволяют создавать миниатюрные антенные системы с требуемыми параметрами. Особенно ценны эти технологии при проектировании аппаратуры для работы в особых условиях, где проведение натурных испытаний сопряжено с существенными трудностями.

Современные расчетные алгоритмы обеспечивают соответствие между результатами моделирования и экспериментальными данными на уровне 90-95%. Однако для получения достоверных результатов крайне важно корректно задавать начальные условия, точно описывать свойства материалов и правильно выбирать параметры расчетной сетки. Наиболее рациональной методикой является комбинированный подход, сочетающий компьютерное моделирование с выборочными контрольными измерениями на физических образцах.

Лабораторные испытания включают комплекс измерений с применением высокоточного оборудования. Анализаторы спектра и векторные сетевые анализаторы позволяют снимать амплитудно-частотные характеристики в широком диапазоне. Измерение коэффициента стоячей волны (КСВ) проводится с помощью рефлектометров и позволяет оценить качество согласования антенно-фидерных трактов. Для проверки устойчивости к помехам используются камеры экранирования и генераторы шумовых сигналов.

Проведение лабораторных испытаний является неотъемлемой частью процесса разработки и сертификации радиоэлектронного оборудования. В отличие от теоретических расчетов, такие исследования предоставляют фактические данные о рабочих параметрах устройств в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации.

Современные измерительные лаборатории оснащаются высокоточным оборудованием, позволяющим всесторонне оценивать характеристики радиосистем. Анализаторы спектра производства ведущих компаний обеспечивают детальное исследование частотных параметров сигналов с высокой степенью

достоверности. С их помощью выявляют нежелательные излучения и определяют спектральную чистоту передатчиков.

Особую роль в лабораторной практике играют векторные анализаторы цепей, которые дают возможность комплексного исследования параметров рассеяния. Эти приборы незаменимы при настройке согласующих устройств и оценке качества соединений в высокочастотных трактах. С их помощью определяют не только модульные, но и фазовые характеристики сигналов, что особенно важно при работе с цифровыми системами передачи данных [3].

Генераторная аппаратура в лабораторных условиях представлена широким спектром устройств - от классических аналоговых генераторов до сложных векторных систем формирования сигналов. Специальные генераторы шума применяют для проверки устойчивости оборудования к различным видам помех, что особенно актуально для устройств, работающих в условиях насыщенного радиоэфира.

Процесс лабораторных испытаний начинается с тщательной подготовки. На этом этапе выполняют калибровку измерительных приборов, разрабатывают программы испытаний и подготавливают необходимые тестовые сигналы. Особое внимание уделяют созданию репрезентативных условий тестирования, которые должны учитывать все возможные режимы работы оборудования.

Основной этап исследований включает комплекс измерений, направленных на определение ключевых характеристик устройства. Специалисты снимают амплитудно-частотные характеристики, проверяют чувствительность приемных трактов, измеряют уровень нелинейных искажений. Особое значение придают оценке динамического диапазона, который определяет способность системы работать при наличии мощных мешающих сигналов.

Дополнительные испытательные процедуры включают проверку электромагнитной совместимости, тестирование устойчивости к внешним воздействиям и климатические испытания. Для проведения таких исследований используют специальные экранированные камеры, которые позволяют создать контролируемые условия и исключить влияние внешних факторов [4].

Современные измерительные комплексы все чаще строятся на основе принципов автоматизации. Программное управление измерительными приборами позволяет не только повысить точность исследований, но и значительно ускорить процесс сбора и обработки данных. Однако, несмотря на развитие автоматизированных систем, квалифицированная интерпретация результатов по-прежнему требует глубокого понимания физических принципов работы радио-

технических устройств и опыта практической работы с измерительным оборудованием.

Натурные испытания проводятся в реальных условиях эксплуатации. Тестирование дальности связи выполняется на полигонах с варьированием рельефа местности. Оценка многолучевого распространения требует измерений в городской застройке. Климатические испытания включают работу оборудования в термобарокамерах при экстремальных температурах и влажности.

Таблица 1 - Примеры методик испытаний различных типов РЭУ

Тип устройства	Методика испытаний	Измеряемые параметры	Оборудование
Мобильный радиомодем	Камерные испытания ЭМС	Уровень побочных излучений	Экранированная камера, анализатор спектра
Бортовая РЛС	Натурные радиолокационные измерения	Дальность обнаружения, точность	Контрольные радиолокационные отражатели
Спутниковый ретранслятор	Термовакuumные испытания	Стабильность параметров в вакууме	Вакуумная камера с терморегуляцией

Для мобильных радиомодемов особое значение имеют испытания на электромагнитную совместимость. В экранированных камерах измеряют уровень нежелательных излучений и чувствительность к внешним помехам. Эти тесты проводятся с использованием калиброванных антенн и прецизионных измерительных приемников.

Бортовые радиолокационные системы проходят комплексные натурные испытания. Специалисты оценивают реальную дальность обнаружения типовых целей при различных погодных условиях. Параллельно измеряется точность определения координат с использованием контрольных отражателей с известными характеристиками [5].

Космические ретрансляторы подвергаются особо строгим испытаниям. Термовакuumные камеры имитируют условия космического пространства, позволяя проверить стабильность параметров оборудования при циклических

температурных нагрузках и в условиях глубокого вакуума. Эти испытания могут продолжаться несколько недель для полной проверки надежности системы.

Список литературы

1. Авторское свидетельство № 313314 А1 СССР, МПК H04N 17/00. Устройство для настройки радиотехнических устройств: № 1373163/26-9: заявл. 05.11.2023; опубл. 31.08.2023 / Е. В. Антонов, К. М. Демченко, Е. Ф. Каулин [и др.]. – EDN HLTAIZ.
2. Столбиков, А. В. Устройство для подгонки элементов радиотехнических устройств / А. В. Столбиков, Г. П. Шопин // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – 2022. – Т. 3, № 2. – С. 24-28. – EDN OIEHPB.
3. Авторское свидетельство № 144640 А1 СССР, МПК H04L 7/04, H04L 5/26. Устройство для программной перестройки радиотехнических устройств на заранее заданные фиксированные частоты: № 688470: заявл. 10.12.2023; опубл. 01.01.2023 / Л. И. Гончар, А. И. Ставицкий. – EDN YGCLAQ.
4. Беликов, А. Н. Использование компьютерного моделирования при проектировании радиоэлектронных устройств / А. Н. Беликов, Д. Г. Рыбаков // Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, 22–24 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф.Уткина, 2023. – С. 178-179. – EDN OSXGVW.Евграфов, В. В. Виброзащита радиотехнических устройств демпфирующими слоями: специальность 05.12.04 "Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евграфов Владимир Викторович. – Владимир, 2023. – 167 с. – EDN NMMSSL.
5. Кучерук, Д. А. Математическая модель технического диагностирования радиоэлектронных устройств с применением вращающегося электромагнитного поля / Д. А. Кучерук // Наукоемкие технологии. – 2023. – Т. 21, № 9. – С. 49-56. – DOI 10.18127/j19998465-202009-06. – EDN STMNMU.

References

1. Author's Certificate No. 313314 A1 USSR, IPC H04N 17/00. Device for Tuning Radio Engineering Equipment: No. 1373163/26-9: filed November 5, 2023;

published August 31, 2023 / E. V. Antonov, K. M. Demchenko, E. F. Kaulin [et al.]. – EDN HLTAIZ.

2. Stolbikov, A. V., & Shopin, G. P. Device for Adjusting Elements of Radio Engineering Equipment. In Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the International Scientific and Practical Conference, 2022, Vol. 3, No. 2, pp. 24–28. – EDN OIEHPB.

3. Author's Certificate No. 144640 A1 USSR, IPC H04L 7/04, H04L 5/26. Device for Software-Based Retuning of Radio Engineering Equipment to Predefined Fixed Frequencies: No. 688470: filed December 10, 2023; published January 1, 2023 / L. I. Gonchar, A. I. Stavitsky. – EDN YGCLAQ.

4. Belikov, A. N., & Rybakov, D. G. Use of Computer Simulation in the Design of Radioelectronic Devices. In New Information Technologies in Scientific Research: Proceedings of the 28th All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Young Scientists and Specialists, Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin, November 22–24, 2023. – Ryazan: Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin, 2023. – pp. 178–179. – EDN OSXGVW.

5. Evgrafov, V. V. Vibration Protection of Radio Engineering Devices by Damping Layers: Specialty 05.12.04 “Radio Engineering, Including Television Systems and Devices”: Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences. – Vladimir, 2023. – 167 p. – EDN NMMSSL.

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Е.С. Ильин, А.Н. Потапов

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

Аннотация: в статье проведен всесторонний анализ основных показателей работоспособности радиотехнических комплексов и аппаратуры. Исследование охватывает три фундаментальных аспекта: энергоэффективность, устойчивость к внешним воздействиям и эксплуатационную надежность оборудования.

Ключевые слова: радиотехнические устройства, РЭУ, эффективность, энергетические параметры, мощность передатчика.

MAIN CRITERIA FO REVALUATINGTHE EFFICIENCY OF RADIOENGINEERING DEVICES

E.S. Ilyin, A.N. Potapov

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

Abstract: The article presents a comprehensive analysis of the key performance indicators of radio engineering systems and equipment. The study covers three fundamental aspects: energy efficiency, resistance to external influences, and operational reliability of the devices.

Keywords: radio engineering devices, RED, efficiency, energy parameters, transmitter power.

Работоспособность современных радиотехнических комплексов определяется комплексом взаимосвязанных параметров, формирующих их эксплуатационные характеристики. Эти показатели позволяют объективно оценить возможности оборудования в различных условиях применения.

Центральное место в оценке радиосистем занимает анализ их энергетических характеристик. Способность оборудования эффективно передавать и принимать информационные сигналы напрямую зависит от нескольких ключевых параметров.

Мощность передающего устройства является критически важным показателем, определяющим максимальную дальность устойчивой связи. В радиолокационных станциях увеличение мощности излучения расширяет зону обнаружения целей. Однако следует учитывать, что чрезмерное повышение мощности влечет за собой ряд негативных последствий: перегрузку выходных каскадов, рост энергопотребления и необходимость применения дополнительных систем охлаждения.

Не менее значимым параметром является чувствительность приемного оборудования. Этот показатель характеризует минимальный уровень сигнала, при котором сохраняется возможность его корректной обработки. Особую важность высокая чувствительность приобретает при работе со слабыми сигналами в системах спутниковой связи или при приеме информации от удаленных объектов[1].

Коэффициент полезного действия отражает эффективность преобразования потребляемой энергии в полезный радиосигнал. Низкие значения КПД приводят к существенным проблемам в эксплуатации: повышенному тепловыделению, сокращению срока службы компонентов и необходимости использования массивных теплоотводящих конструкций. Эти факторы значительно увеличивают массогабаритные показатели оборудования и снижают его экономическую эффективность.

Оптимизация работы радиотехнических систем требует тщательного анализа всех перечисленных параметров с учетом конкретных условий эксплуатации. Современные разработки в этой области направлены на поиск оптимального баланса между энергетическими характеристиками, надежностью работы и экономической целесообразностью использования оборудования.

Таблица 1 – Сравнения энергетических параметров различных РЭУ

Параметр	Радиомодем (КВ-диапазон)	Радиолокационная станция	Спутниковый приемник
Мощность передатчика	10 Вт	100 кВт	5 Вт
Чувствительность	0.5 мкВ	1 мкВ	0.2 мкВ
КПД	60%	40%	75%

Из таблицы 1 видно, что спутниковый приемник обладает высокой чувствительностью и КПД, что позволяет ему эффективно работать с слабыми сигналами. В то же время радиолокационная станция требует значительной мощности для обеспечения большой дальности действия [2].

В современных условиях перегруженного радиочастотного спектра способность радиотехнических устройств сохранять работоспособность при наличии помех приобретает особое значение. Эта характеристика во многом определяет практическую применимость оборудования в реальных условиях эксплуатации.

Качество связи в значительной степени зависит от соотношения полезного сигнала к шумам (SNR). Этот параметр имеет критическое значение для различных систем передачи данных. В цифровом телевидении, например, при снижении SNR ниже порогового значения 15 децибел наблюдаются заметные искажения видеосигнала, проявляющиеся в виде артефактов изображения и прерываний трансляции.

Частотная избирательность оборудования позволяет эффективно выделять целевой сигнал среди множества соседних частотных составляющих. Эта характеристика особенно важна для систем сотовой связи, где одновременная работа большого количества абонентов в ограниченном частотном диапазоне требует высокой селективности приемопередающей аппаратуры. Без должного уровня избирательности невозможно обеспечить стабильное соединение в условиях плотной застройки или при массовых мероприятиях.

Современные технические решения активно используют цифровые методы обработки сигналов для повышения помехоустойчивости. Алгоритмы цифровой обработки сигналов (DSP) позволяют автоматически идентифицировать и подавлять различные виды помех. Ярким примером эффективного применения таких технологий являются системы активного шумоподавления в микро-

фонной аппаратуре, где адаптивные фильтры в реальном времени анализируют акустическую обстановку и компенсируют нежелательные шумовые составляющие. Подобные принципы находят применение и в других областях радиотехники, существенно повышая качество работы оборудования в сложных эфирных условиях.

Таблица 2 – Помехоустойчивости различных систем

Система	SNR (дБ)	Избирательность (дБ)	Используемые технологии
Цифровое ТВ (DVB-T2)	20	50	OFDM, коррекция ошибок
Сотовая связь (5G)	15	60	MIMO, адаптивные антенны
Авиационная радиосвязь	25	70	Шумоподавление, фильтры

Как видно из таблицы 2, авиационная связь требует высокого SNR и избирательности, так как отказ системы может привести к критическим последствиям. В то же время 5G-сети используют сложные алгоритмы для работы в условиях высокой загрузки [3].

Показатели надежности радиотехнических комплексов являются определяющим фактором при оценке их эксплуатационной пригодности. Эти характеристики позволяют прогнозировать срок бесперебойной работы оборудования в различных условиях окружающей среды [4].

Одним из ключевых параметров оценки надежности выступает среднее время наработки на отказ (MTBF). В профессиональных радиосистемах, таких как военные комплексы связи и радиолокационные станции, данный показатель может превышать несколько десятков тысяч часов непрерывной работы. Такие высокие значения достигаются за счет применения специальных схемотехнических решений и использования компонентов с повышенным запасом прочности.

Особое значение приобретает способность оборудования сохранять работоспособность при воздействии неблагоприятных внешних факторов. Широкий температурный диапазон функционирования, устойчивость к повышенной влажности и вибрационным нагрузкам являются обязательными требованиями

для устройств, работающих в экстремальных условиях. Морские радионавигационные системы должны выдерживать постоянное воздействие соленой воды и атмосферных осадков, тогда как аппаратура космической связи подвергается воздействию вакуума, радиации и экстремальных температурных перепадов.

Дополнительными факторами, влияющими на эксплуатационную надежность, являются:

1. Качество применяемых материалов и компонентов.
2. Степень защиты от коррозии.
3. Эффективность систем охлаждения.
4. Устойчивость к электромагнитным помехам.

Современные стандарты проектирования радиотехнического оборудования предусматривают комплексные испытания на надежность, включающие ускоренное старение компонентов, механические воздействия и проверку работоспособности в критических режимах эксплуатации.

Таблица 3 – Показатели надёжности

Устройство	MTBF (часы)	Диапазон температур	Влагозащита (IP)
Бытовой Wi-Fi роутер	30 000	0°C – 40°C	IP20
Морская радиостанция	50 000	-30°C – 70°C	IP67
Спутниковый передатчик	100 000	-50°C – 85°C	IP68

Из таблицы 3 наблюдается, что промышленные и военные РЭУ имеют значительно более высокие показатели надежности по сравнению с бытовыми устройствами [5].

Эффективность РЭУ зависит от множества факторов, включая энергопотребление, устойчивость к помехам и надежность. Оптимальное сочетание этих параметров позволяет создавать устройства, способные работать в самых сложных условиях. Современные технологии, такие как адаптивная обработка сигналов и новые материалы, продолжают расширять возможности радиотехники, делая ее более эффективной и долговечной.

Список литературы

1. Авторское свидетельство № 313314 А1 СССР, МПК H04N 17/00. Устройство для настройки радиотехнических устройств: № 1373163/26-9: заявл.

05.11.2023: опубл. 31.08.2023 / Е. В. Антонов, К. М. Демченко, Е. Ф. Каулин [и др.]. – EDN HLTAIZ.

2. Столбиков, А. В. Устройство для подгонки элементов радиотехнических устройств / А. В. Столбиков, Г. П. Шопин // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – 2022. – Т. 3, № 2. – С. 24-28. – EDN OIEHPB.

3. Авторское свидетельство № 144640 А1 СССР, МПК H04L 7/04, H04L 5/26. Устройство для программной перестройки радиотехнических устройств на заранее заданные фиксированные частоты: № 688470: заявл. 10.12.2023: опубл. 01.01.2023 / Л. И. Гончар, А. И. Ставицкий. – EDN YGCLAQ.

4. Патент № 2124269 С1 Российская Федерация, МПК H04B 7/00, H04B 17/00, H04W 24/00. Устройство для оценки радиотехнических характеристик устройства мобильной связи: № 96124663/09: заявл. 27.12.2024: опубл. 27.12.2024 / К. Йонг-Ил; заявитель Самсунг Электроникс Ко., ЛТД. – EDN ZODZYS.

References

1. Author's Certificate No. 313314 A1 USSR, IPC H04N 17/00. Device for Tuning Radio Engineering Equipment: No. 1373163/26-9: filed November 5, 2023; published August 31, 2023 / E. V. Antonov, K. M. Demchenko, E. F. Kaulin [et al.]. – EDN HLTAIZ.

2. Stolbikov, A. V., & Shopin, G. P. Device for Adjusting Elements of Radio Engineering Equipment. In Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the International Scientific and Practical Conference, 2022, Vol. 3, No. 2, pp. 24–28. – EDN OIEHPB.

3. Author's Certificate No. 144640 A1 USSR, IPC H04L 7/04, H04L 5/26. Device for Software Retuning of Radio Engineering Equipment to Predetermined Fixed Frequencies: No. 688470: filed December 10, 2023; published January 1, 2023 / L. I. Gonchar, A. I. Stavitsky. – EDN YGCLAQ.

4. Patent No. 2124269 C1 Russian Federation, IPC H04B 7/00, H04B 17/00, H04W 24/00. Device for Evaluating Radio Engineering Characteristics of a Mobile Communication Device: No. 96124663/09: filed December 27, 2024; published December 27, 2024 / K. Yong-Il; applicant: Samsung Electronics Co., Ltd. – EDN ZODZYS.

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В АСТРОНОМИИ: ПОИСК ВНЕЗЕМНЫХ СИГНАЛОВ И SETI

Е.С. Ильин

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

Современная астрономия опирается не только на оптические методы наблюдений, но и на радиоэлектронные устройства (РЭУ), которые позволяют фиксировать электромагнитные волны различного диапазона. Особое место в этой области занимает направление SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) — поиск сигналов, которые могли бы свидетельствовать о существовании разумной жизни за пределами Земли. С момента первых экспериментов в середине XX века и до наших дней радиоастрономические установки остаются ключевым инструментом подобных исследований.

Ключевые слова: радиоэлектронные устройства, SETI, радиоастрономия, внеземные сигналы, радиотелескопы, спектральный анализ, электромагнитные волны.

RADIO-ELECTRONIC DEVICES IN ASTRONOMY: THE SEARCH FOR EXTRATERRESTRIAL SIGNALS AND SETI

E.S. Ilyin

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

Modern astronomy relies not only on optical observation methods but also on radio-electronic devices (REDs), which make it possible to detect electromagnetic waves across various ranges. A special place in this field is occupied by SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) – the search for signals that could indicate the existence of intelligent life beyond Earth. From the very first experiments in the mid-20th century to the present day, radio astronomy installations have remained a key tool in such research.

Keywords: radio-electronic devices, SETI, radio astronomy, extraterrestrial signals, radio telescopes, spectral analysis, electromagnetic waves.

РЭУ в астрономии включают высокочувствительные радиоприёмники, антенны больших диаметров, спектроанализаторы и вычислительные комплексы для обработки сигналов. Эти устройства позволяют фиксировать радиоволны от природных космических объектов (пульсаров, квазаров, галактик) и одновременно искать аномальные сигналы искусственного происхождения. Современные радиотелескопы способны регистрировать колебания в диапазоне от мегагерц до гигагерц, что охватывает так называемое «водяное окно» – спектральный диапазон, оптимальный для межзвёздной связи.

Проекты SETI и роль РЭУ.

Программы SETI используют крупные радиоастрономические комплексы:

1. **Arecibo (до 2020 года)**– один из самых мощных радиотелескопов XX века.
2. **Allen Telescope Array (ATA)**– массив из множества антенн, обеспечивающий возможность поиска сигналов в широком диапазоне частот.
3. **FAST (Китай)**– крупнейший на сегодняшний день радиотелескоп с активной ролью в поиске внеземных сигналов.

Ключевая задача РЭУ в этих проектах – улавливать слабейшие радиосигналы на фоне мощного космического шума и затем с помощью спектральных методов выделять возможные искусственные источники.

Технические особенности и проблемы.

Для успешного поиска сигналов внеземного происхождения необходимы:

1. **Высокая чувствительность приёмников**– способность обнаруживать слабые сигналы на грани шумов.
2. **Точная фильтрация и спектральный анализ**– выделение узкополосных сигналов, нехарактерных для природных источников.
3. **Устранение земных помех**– борьба с сигналами спутников, радаров и телекоммуникационных систем [2].
4. **Массивная обработка данных**– использование суперкомпьютеров и распределённых вычислений (например, проект SETI@Home).

Применение РЭУ и перспективы

Современные исследования всё чаще опираются на интеграцию радиоэлектронных устройств с методами искусственного интеллекта. Машинное

обучение помогает автоматизировать поиск «аномалий» в радиоспектрах, ускоряя обработку колоссальных объёмов информации.

В будущем возможно создание глобальной распределённой сети радиотелескопов, где тысячи РЭУ будут синхронизированы и объединены для поиска внеземных сигналов [3].

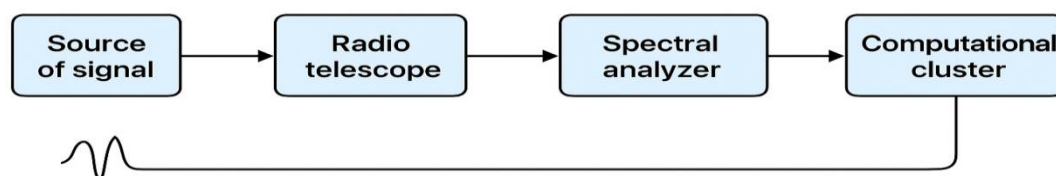


Рисунок 1 – Последовательность обработки радиосигнала

На рисунке 1 представлена последовательность обработки радиосигнала в рамках радиоастрономических исследований и проектов SETI. Сначала сигнал приходит из космоса и фиксируется системой наблюдения. Далее он проходит через стадию регистрации и усиления, чтобы можно было выделить его на фоне шумов [4]. После этого данные анализируются с помощью методов спектрального разложения, позволяющего определить частотные характеристики и выявить необычные узкополосные компоненты, нехарактерные для природных источников. Затем вся полученная информация поступает в вычислительные системы, где осуществляется глубокая обработка: сравнение с базами данных известных астрономических сигналов, исключение помех от земных источников и поиск возможных следов искусственного происхождения.

Таким образом, схема иллюстрирует весь цикл – от поступления радиоволн до их компьютерного анализа, конечная цель которого заключается в выявлении потенциальных признаков внеземных цивилизаций.

Радиоэлектронные устройства играют фундаментальную роль в поиске внеземных цивилизаций. Без них невозможно представить ни традиционную радиоастрономию, ни проекты SETI. Хотя пока подтверждённых сигналов не найдено, развитие РЭУ, рост чувствительности приёмной аппаратуры и вне-

дрение методов ИИ позволяют надеяться, что ближайшие десятилетия принесут прорыв в этом направлении[5].

Список литературы

1. Дрейк, Ф. Уравнение Дрейка и поиск внеземных цивилизаций / Ф. Дрейк. – Москва: Наука, 2023. – 214 с. – ISBN 978-5-02-040567-3. – EDN QWERTY.
2. Шкловский, И. С. Вселенная, жизнь, разум / И. С. Шкловский. – Москва: Лаборатория знаний, 2024. – 348 с. – ISBN 978-5-94774-123-7. – EDN ASDFGH.
3. Tarter, J. The Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI) / J. Tarter // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 2024. – Vol. 39. – P. 511–548.
4. Harp, G., Werthimer, D. SETI with the Allen Telescope Array / G. Harp, D. Werthimer // Acta Astronautica. – 2023. – Vol. 146. – P. 69–77.
5. Li, D., Nan, R., Pan, Z. The Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope Project / D. Li, R. Nan, Z. Pan // Proceedings of the IEEE. – 2024. – Vol. 101(5). – P. 1122–1135.

References

1. Drake, F. The Drake Equation and the Search for Extraterrestrial Civilizations. – Moscow: Nauka, 2023. – 214 p. – ISBN 978-5-02-040567-3. – EDN QWERTY.
2. Shklovsky, I. S. Universe, Life, Intelligence. – Moscow: Knowledge Laboratory, 2024. – 348 p. – ISBN 978-5-94774-123-7. – EDN ASDFGH.
3. Tarter, J. The Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI). Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 2024, Vol. 39, pp. 511–548.
4. Harp, G., & Werthimer, D. SETI with the Allen Telescope Array. Acta Astronautica, 2023, Vol. 146, pp. 69–77.
5. Li, D., Nan, R., & Pan, Z. The Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope Project. Proceedings of the IEEE, 2024, Vol. 101(5), pp. 1122–1135.

АРХИТЕКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ФРОНТЕНД-ПРИЛОЖЕНИЯ «АТОМ.ОКО»

Е.А. Кирин, И.Р. Евчук

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

Аннотация: статья посвящена архитектурной эволюции и технологическим решениям фронтенд-приложения системы анализа и классификации документов «Атом.ОКО». Описаны основные этапы перехода от модульной структуры к Feature-Sliced Design (FSD), применение React 18, MobX и TypeScript для построения масштабируемой бизнес-логики. Рассмотрены решения по визуализации интерактивных графов с использованием React Flow, управление позиционной разметкой документов через Paper.js, а также оптимизация интерфейса и сборки при переходе с Webpack на Vite. Особое внимание уделено lazy loading компонентов, организации CI/CD, контейнеризации с Docker, обеспечению качества кода и тестированию с помощью Jest, React Testing Library и BackstopJS. Подчеркивается важность системного подхода к архитектуре, обеспечивающего масштабируемость, предсказуемость и удобство сопровождения фронтенд-приложения.

Ключевые слова: фронтенд, React, MobX, TypeScript, Feature-Sliced Design, React Flow, Paper.js, Ant Design, Vite, lazy loading, CI/CD, Docker, тестирование, Jest, React Testing Library, BackstopJS, визуальная бизнес-логика, OCR.

ARCHITECTURAL EVOLUTION AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF A FRONTEND APPLICATION «ATOM.OKO»

E.A. Kirin, Evchuk I.R.

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

Abstract: The article is devoted to the architectural evolution and technological solutions of the frontend application of the Atom.OKO document analysis and classification system. The main stages of the transition from a modular structure to Feature-Sliced Design (FSD), the use of React

18, MobX and TypeScript for building scalable business logic are described. Solutions for visualization of interactive graphs using React Flow, control of positional markup of documents through Paper are considered.js, as well as optimizing the interface and build when switching from Webpack to Vite. Special attention is paid to lazy loading of components, CI/CD organization, containerization with Docker, code quality assurance and testing using Jest, React Testing Library and BackstopJS. The importance of a systematic approach to architecture that ensures scalability, predictability, and maintainability of a frontend application is emphasized.

Keywords: frontend, React, MobX, TypeScript, Feature-Sliced Design, React Flow, Paper.js, Ant Design, Vite, lazy loading, CI/CD, Docker, testing, Jest, React Testing Library, BackstopJS, visual Business logic, OCR.

Разработка клиентской части системы анализа и классификации документов «Атом.ОКО» началась с относительно простой модульной архитектуры, привычной для React-приложений среднего масштаба. Кодовая база была организована по техническому признаку — в отдельных директориях находились компоненты, сторы, API, утилиты. На старте это обеспечивало быстрый темп разработки, но с ростом проекта подход стал проявлять ограниченность. Количество сценариев и бизнес-логики росло, модули начали обрастать несвойственными зависимостями, а границы ответственности размывались. Появились ситуации, когда компонент интерфейса напрямую взаимодействовал с состоянием стороннего бизнес-процесса, что нарушало изоляцию и усложняло рефакторинг. Возникла необходимость в архитектурной перестройке, способной обеспечить масштабируемость и прозрачность кода в долгосрочной перспективе.

Ответом на этот вызов стало внедрение методологии Feature-Sliced Design (FSD), предложившей структурировать проект в соответствии с бизнес-логикой, а не типом файлов. Эта методология ввела четкое разделение слоев — shared, entities, features, widgets и pages, где зависимости направлены строго от общего к частному. Благодаря FSD удалось локализовать бизнес-сущности, разделить зоны ответственности и устранить неявные связи.

Архитектурная структура приобрела читаемость и предсказуемость, что значительно облегчило онбординг новых разработчиков. Для обеспечения дисциплины в проект был интегрирован линтер архитектуры (steiger), запускаемый командой `npm run lint:fsd`, который автоматически отслеживает нарушения архитектурных правил. Таким образом, архитектурная чистота была закреплена на уровне процессов сборки и ревью, предотвращая деградацию структуры с течением времени.

Базой фронтенд-приложения стал React 18. Этот выбор продиктован зрелостью фреймворка, широтой экосистемы и декларативным подходом к построению интерфейсов. Использование функциональных компонентов и хуков позволило создавать переиспользуемую, модульную бизнес-логику, изолируя состояние и побочные эффекты. React оказался особенно эффективен в задачах, связанных с динамическим отображением данных — таблиц, аннотаций, форм и графов.

Для управления состоянием была выбрана библиотека MobX, предложившая реактивную и при этом простую в освоении модель. В отличие от Redux, который требует иммутабельных редьюсеров и строгого описания всех действий, MobX позволяет работать с мутабельными объектами, автоматически отслеживая зависимости. Это оказалось решающим преимуществом в интерфейсах с высокой частотой обновлений данных — например, при аннотировании документов или редактировании шаблонов. Благодаря mobx-react-lite рендеринг компонентов стал избирательным: перерисовываются только те, чьи наблюдаемые поля действительно изменились. Такой подход обеспечил отзывчивость интерфейса и уменьшил накладные расходы на вычисления. Архитектурно сторы оформлены в виде классов (например, DocTypeModel, UserModel), где методы действий объявлены как экшены (@action), что делает бизнес-логику читаемой и разделённой.

Особое значение во фронтенд-инфраструктуре имеет TypeScript. В работе над сложной предметной областью, типизация является не только инструментом безопасности, но и занимает важную роль в документации. Типы могут заниматься описанием как контрактов между различными слоями приложения, так и структур запросов и ответов API между фронтендом и бэкендом. Это значительно уменьшает количество ошибок, которые возникают из-за несоответствия данных, и позволяет упростить масштабирование системы. Кроме того, типизация поддерживает стандартизацию взаимодействия с внешними сервисами, в том числе OCR и Keycloak, что, в свою очередь, обеспечивает предсказуемость и стабильность API-интерфейсов.

В рамках развития системы «Атом.ОКО» возникла необходимость наглядно представлять сложные бизнес-процессы. Решением стала разработка интерактивного конструктора, с помощью которого пользователи имели возможность самостоятельно проектировать сценарии работы с данными. Такой подход позволит не только визуально представить ход выполнения требуемых действий, но и полностью избежать необходимости писать или править код вруч-

ную. Предлагаемые сценарии должны поддерживать различные операции над данными, например, сравнение, арифметические вычисления, преобразования типов и сохранение результатов. Требовалось обеспечить удобство и интуитивную ясность взаимодействия пользователя с системой, а также гарантировать логическую корректность построенных процессов.

В рамках исследования были проанализированы различные подходы: создание собственного редактора на canvas-основе, использование графовых библиотек общего назначения D3.js и специализированных решений для построения блок-схем. Результаты анализа показали, что библиотека React Flow (@xyflow/react) наилучшим образом сочетает гибкость, производительность и возможность глубокой интеграции с React-экосистемой. Она предоставила готовый инструментарий для построения интерактивных графов, включающий drag-and-drop, множественные входные и выходные хендлы, динамическое изменение структуры узлов и встроенную систему событий. Это позволило реализовать редактирование графа без необходимости разрабатывать собственный движок рендеринга связей и маршрутизации сигналов.

В отличие от типичных сценариев использования React Flow, где акцент делается на визуализацию данных, библиотека стала ядром редактора бизнес-логики, тесно связанного с состоянием приложения и серверной моделью данных. Графовое представление (узлы и связи) синхронизируется с централизованным состоянием, управляемым через MobX, что обеспечивает реактивное обновление интерфейса и согласованность данных. Каждый узел интерпретируется как атомарная операция — сравнение, преобразование или сохранение переменной, — а связи между ними формируют ориентированный ациклический граф вычислений. Такая модель обеспечивает детерминированность выполнения сценариев и возможность их сериализации в формат, понятный серверной части.

Особое внимание было уделено валидации графа, обеспечивающей логическую корректность собранных сценариев. Разработанная многоуровневая система проверок включает контроль структурной целостности (отсутствие циклов и несвязанных компонентов), ограничение на единственный узел сохранения переменной, верификацию типов данных между операциями и обнаружение «висячих» выходов. Эти проверки выполняются динамически при каждом изменении графа, что объединяет визуальное взаимодействие с мгновенным контролем правильности.

В случае нарушения правил система отображает ошибки в контексте соответствующих элементов, направляя пользователя к исправлению некорректных связей.

Исследовательский интерес данного решения заключается в демонстрации того, как визуальные средства моделирования могут повысить доступность системы для пользователей, не обладающих технической подготовкой. Возможность собирать бизнес-логику в виде графа снижает порог входа, делает процесс построения сценариев более интуитивным и способствует прозрачному пониманию вычислительных процессов. Таким образом, использование React Flow в сочетании с MobX позволило объединить интерактивность пользовательского интерфейса с формальной строгостью бизнес-логики, создав устойчивую основу для визуального программирования внутри веб-приложения.

Для задач аннотирования и интерактивного выделения областей документов применялась библиотека Paper.js – мощное API для работы с векторной графикой. Главным ее достоинством является поддержка реализации точного позиционирования, масштабирования и трансформации элементов на Canvas, что обеспечивает гибкую и визуально удобную работу с распознанными документами. Данный подход является необходимым для разработки инструментов выделения, редактирования и удаления сегментов изображения.

Эта система позволила реализовать слой интерактивной графики поверх изображений страниц с возможностью добавления, перемещения и редактирования элементов, которые включают в себя зоны выделения текста, поля ввода, аннотации и другие визуальные маркеры. На ранних этапах реализации позиционирование этих элементов основывалось на абсолютных координатах, которые измерялись в пикселях относительно краёв документа. Такой подход был технически прост, однако показал серьёзные ограничения: при изменении масштаба страницы, разрешения экрана или соотношения сторон изображения происходили заметные искажения — элементы съезжали с исходных позиций, теряя связь с соответствующими участками документа. В результате проведённого анализа и серии экспериментов было принято решение о переходе на относительную систему координат, где все позиции и размеры элементов выражаются не в пикселях, а в процентах от ширины и высоты страницы. Такой переход стал важным архитектурным шагом, позволившим обеспечить масштабируемость и устойчивость позиционной разметки.

Теперь при любом изменении размеров отображаемого документа, параметров зума или ориентации страницы геометрия элементов сохраняет пропор-

циональное соответствие исходному изображению. Кроме того, это решение упростило процесс сериализации и синхронизации данных между клиентом и сервером — координаты в относительном формате не зависят от конкретного устройства пользователя и могут быть одинаково корректно интерпретированы при повторном открытии документа. Таким образом, переход от пиксельной к процентной системе позиционирования в связке с `Paper.js` не только повысил точность и надёжность визуального взаимодействия, но и стал основой для адаптивной и кроссплатформенной архитектуры интерфейса, устойчивой к изменениям масштабирования, разрешения и формата исходных документов.

На уровне пользовательского интерфейса применён гибридный подход: основу составила библиотека `Ant Design (antd)`, а над ней — внутренняя UI-библиотека `@quark-uilib/components`, реализующая дизайн-систему Гринатома. Это сочетание позволило объединить преимущества готового экосистемного набора компонентов с корпоративными требованиями к стилю, доступности и унификации. Стилизация интерфейсов осуществляется через `styled-components`, что обеспечивает динамическое применение тем и параметров, а также изолированность CSS в пределах компонентов.

По мере увеличения числа модулей и компонентов возникла необходимость оптимизировать сборку. Изначально проект использовал `Webpack`, но со временем он стал узким местом. При большом количестве зависимостей и точек входа время запуска дев-сервера достигало 45–50 секунд, а пересборка после правки занимала до 15 секунд. Это снижало скорость итераций и замедляло процесс разработки. После анализа альтернатив команда приняла решение о переходе на `Vite`, использующий нативные ES-модули и сверхбыструю компиляцию на базе `esbuild`. В результате время старта проекта сократилось до 3–4 секунд, а `Hot Module Replacement` стал практически мгновенным — менее секунды даже при сложных сценариях. Помимо скорости, `Vite` обеспечил простоту конфигурации и нативную поддержку `React`, `TypeScript`, `CSS Modules` и `styled-components`. Перенос сборки стал ключевым шагом к ускорению разработки и повышению отзывчивости среды.

В проекте активно применяется технология отложенной загрузки (`lazy loading`) компонентов. Все страницы и крупные модули подгружаются динамически с использованием `React.lazy`, что позволяет разделять бандл на отдельные чанки и загружать код только при необходимости. Такой подход снижает время начальной загрузки, уменьшает нагрузку на клиент и ускоряет рендеринг интерфейса. В комбинации с `React Suspense` и `fallback`-компонентами обеспечива-

ется плавное отображение страниц и повышение отзывчивости приложения, особенно при работе с тяжёлыми редакторами шаблонов, бизнес-логики и графов React Flow. Lazy loading также способствует модульности и масштабируемости: новые страницы можно добавлять без увеличения основного бандла, что упрощает поддержку и развитие системы.

Качество кода поддерживается комплексом инструментов: ESLint и Prettier обеспечивают единый стиль и предупреждают потенциальные ошибки; Husky и lint-staged выполняют автоматические проверки при коммитах, не позволяя невалидному коду попасть в репозиторий. Для упрощения развертывания была внедрена контейнеризация с использованием Docker. В качестве базового образа для фронтенда использовался Nginx (nginx:alpine), куда копировалась собранная версия приложения из папки dist, а конфигурации Nginx хранились отдельно в директории configs/nginx. Контейнеры запускались с автоматическим перезапуском, а окружение настраивалось через .env и переменные времени. Для локального тестирования и разработки использовались отдельные конфигурации с портами, перенаправленными на 4005, что позволяло одновременно запускать несколько сред.

Для автоматизации сборки и деплоя был настроен CI/CD пайплайн на GitLab, который включал последовательные этапы: установка зависимостей (install), линтинг (lint), тестирование (test), релиз (release), сборка (build), создание Docker-образа (docker) и деплой на серверы (deploy). Пайплайн позволял гибко обрабатывать ветки разработки (dev), тестирования (test) и основную ветку (main), включая возможность ручного запуска этапов для отдельных сценариев, таких как сборка для Росимущество. На этапе сборки использовалась переменная окружения CI_COMMIT_BRANCH для настройки флагов функционала и локализаций, что позволяло динамически включать определённые возможности фронтенда в зависимости от ветки. Для тестирования используется Jest совместно с React Testing Library, обеспечивающие покрытие логики и компонентов.

Для работы с асинхронными операциями и API-запросами использовались моки через Jest, что позволило тестировать поведение моделей без реальных сетевых вызовов. Проверялись такие сценарии, как установка и изменение атрибутов, добавление и изменение шагов постобработки, сброс всех полей модели, тестирование атрибутов на примере документа, а также управление валидностью полей и блокировкой тестирования.

На уровне компонентов использовалась React Testing Library, которая обеспечивает тестирование взаимодействия с UI и поведение элементов на странице. Это позволяет гарантировать, что пользовательские действия вызывают ожидаемые изменения состояния моделей и корректно отображаются в интерфейсе.

Кроме юнит-тестирования и интеграционного тестирования логики, был внедрён визуальный регрессионный контроль с помощью BackstopJS. Он позволяет автоматически выявлять непреднамеренные изменения во внешнем виде интерфейсов при обновлении зависимостей или рефакторинге компонентов, обеспечивая стабильность UI между версиями. В итоге стратегия тестирования включает полное покрытие всех моделей и сущностей, проверку взаимодействия с API, валидации данных, управление состоянием и визуальную регрессию.

Всё это в совокупности формирует устойчивый, масштабируемый и предсказуемый фронтенд-стек, адаптированный под долгосрочную разработку и сопровождение. Архитектурный переход от модульности к Feature-Sliced Design, выбор React и MobX, внедрение TypeScript и Vite, а также использование специализированных инструментов — React Flow, Paper.js, Quark-UIlib — не случайный набор технологий, а результат логически обоснованного системного подхода, направленного на достижение основных немаловажных характеристик системы, таких как гибкость, скорость и надёжность. Опыт, который был получен в процессе создания «Атом.ОКО», демонстрирует, как грамотно построенная архитектура и осознанно сделанный выбор инструментов позволяют выстроить фронтенд, способный не только устойчиво и бесппроблемно развиваться на протяжении многих лет, но также быть основой для других корпоративных продуктов Росатома.

Разработка клиентской представляла собой комплексную задачу, которая сочетала в себе продуманный UI, эффективную архитектуру и высокую производительность. В ходе работы удалось построить масштабируемую систему, основанную на React, MobX и Ant Design, где каждая часть интерфейса — от модуля классификации документов до административной панели — связана единой моделью состояния и системой маршрутизации.

Особое внимание было уделено удобству взаимодействия с документами. Реализованы инструменты для предпросмотра, вращения, перемещения и удаления страниц, а также гибкие фильтры по статусу, дате, пользователю и сорту. Это позволило сделать управление документами интуитивным даже при большом количестве данных.

Механизм пошагового тура с сохранением прогресса в `localStorage` стал дополнительным элементом UX-улучшения, помогая пользователям быстро освоить интерфейс.

С точки зрения архитектуры и производительности особую роль сыграл переход с Webpack на Vite. Использование нативных ES-модулей, быстрой компиляции через esbuild и стабильного Hot Module Replacement позволило уменьшить время запуска приложения, а обновления после изменения кода стали происходить почти мгновенно. Это повысило скорость разработки и отзывчивость интерфейса даже в сложных сценариях, например при редактировании больших графов React Flow.

Список литературы

1. Мартин Р. Чистая архитектура: искусство разработки программного обеспечения высокого качества. — М.: Вильямс, 2013.
2. Фаулер М. Шаблоны корпоративных приложений / Пер. с англ. — М.: Диалектика, 2004.
3. Никульчев Е., Ильин Д., Гусев А. Модель выбора технологического стека для проектирования программного обеспечения цифровых платформ // Математика. — 2021. — Т. 9, №4. — С. 308.
4. Стефанов, С. React. Быстрый старт / С. Стефанов. — 2-3 изд., стер. — Санкт-Петербург: Питер, 2023. — 304 с.
5. Podila, P. MobX Quick Start Guide / P.Podila, M. Weststrate. — 1st ed. — Packt Publishing, 2018. — 236 с.
6. Ant Design 5.0: сайт URL: <https://ant.design/> (дата обращения: 28.07.2025).
7. Vite. The Build Tool for the Web: сайт URL: <https://vite.dev/> (дата обращения 28.07.2025)
8. JestJs: сайт URL: <https://jestjs.io/> (дата обращения 28.07.2025)
9. React Testing Library: сайт URL: <https://testing-library.com/docs/react-testing-library/intro/> (дата обращения 28.07.2025)
10. Эммануил Г. Docker Compose для разработчика // ДМК-Пресс. — 2023. — С. 154–158
11. Feature-Sliced Design: сайт URL: <https://feature-sliced.design/> (дата обращения 28.07.2025)

References

1. Martin R. Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. — Moscow: Williams, 2013.
2. Fowler M. Patterns of Enterprise Application Architecture / Translated from English. — Moscow: Dialektika, 2004.
3. Nikulchev E., Ilyin D., Gusev A. Model for Selecting a Technology Stack for Software Design of Digital Platforms // Mathematics. — 2021. — Vol. 9, No. 4. — P. 308.
4. Stefanov S. React: Quick Start / S. Stefanov. — 2–3rd ed., ster. — Saint Petersburg: Piter, 2023. — 304 p.
5. Podila P., Weststrate M. MobX Quick Start Guide / P. Podila, M. Weststrate. — 1st ed. — Packt Publishing, 2018. — 236 p.
6. Ant Design 5.0: website URL: <https://ant.design/> (accessed: 28.07.2025).
7. Vite. The Build Tool for the Web: website URL: <https://vite.dev/> (accessed: 28.07.2025).
8. JestJs: website URL: <https://jestjs.io/> (accessed: 28.07.2025).
9. React Testing Library: website URL: <https://testing-library.com/docs/react-testing-library/intro/> (accessed: 28.05.2025).
10. Emmanuil G. Docker Compose for Developers // DMK-Press. — 2023. — P. 154–158.
11. Feature-Sliced Design: website URL: <https://feature-sliced.design/> (accessed: 28.07.2025).

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФРОНТЕНДА ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ С МАШИНЫМ ОБУЧЕНИЕМ

Е.А. Кирин, И.Р. Евчук

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

Аннотация: статья посвящена современным подходам к frontend - разработке, интегрированных с моделями машинного обучения для задач распознавания документов. Рассматриваются ключевые аспекты построения пользовательского интерфейса: организация процессов загрузки и предобработки файлов, визуализация результатов классификации и извлечения текстовой информации, а также обеспечение интерактивного взаимодействия с моделью. Приводится технический анализ особенностей интеграции клиентской части с API машинного обучения, включая вопросы оптимизации запросов, асинхронной обработки и отображения промежуточных состояний. Особое внимание уделяется проблемам юзабилити, связанным с неопределённостью ответов ИИ и необходимостью валидации результатов пользователем. В заключение обозначается значимость frontend-разработки как посредника между пользователем и сложной интеллектуальной системой, что определяет его роль в успешной практической реализации решений на основе машинного обучения.

Ключевые слова: frontend-разработка, машинное обучение, распознавание документов, интерактивный интерфейс, интеграция с API, асинхронная обработка, визуализация данных, UX.

FEATURES OF FRONT-END IMPLEMENTATION FOR MACHINE LEARNING APPLICATIONS

E.A. Kirin, Evchuk I.R.

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

Abstract: This article is dedicated to modern approaches in front-end development integrated with machine learning models for document recognition tasks. Key aspects of building the user interface are considered, including the organization of file upload and preprocessing processes, visu-

alization of classification results and extracted textual information, as well as ensuring interactive interaction with the model. A technical analysis of the features of integrating the client side with machine learning APIs is provided, including optimization of requests, asynchronous processing, and display of intermediate states. Special attention is given to usability challenges related to the uncertainty of AI responses and the need for user validation of results. In conclusion, the significance of front-end development as an intermediary between the user and a complex intelligent system is highlighted, which determines its role in the successful practical implementation of machine learning-based solutions.

Keywords: front-end development, machine learning, document recognition, interactive interface, API integration, asynchronous processing, data visualization, UX.

Современные информационные системы всё активнее интегрируют технологии машинного обучения (ML), которые позволяют автоматизировать задачи, ранее требовавшие значительных человеческих ресурсов. Одним из востребованных направлений применения является распознавание и интеллектуальная обработка документов — от извлечения текста и классификации до анализа структуры и поиска ключевых данных. Такие решения применяются в банковской сфере, логистике, образовании и государственных учреждениях, где требуется ускорить работу с большими объёмами бумажных и электронных документов. Однако успешное внедрение подобных систем невозможно без создания удобного и функционального пользовательского интерфейса, который обеспечивает взаимодействие человека с моделью машинного обучения. Именно frontend-разработка становится связующим звеном между сложными алгоритмами обработки данных и конечным пользователем, делая результаты работы модели понятными и доступными.

Классические веб-приложения ориентированы преимущественно на статическое взаимодействие с сервером: получение данных, отображение интерфейсов и обработку простых пользовательских запросов. При интеграции моделей машинного обучения специфика frontend-разработки существенно меняется. При реализации системы важно не только обеспечить корректное отображение результата, но и учесть особенности работы модели. Ключевым аспектом является асинхронность выполнения задач, которая требует организации отображения промежуточных статусов для пользователя, таких как загрузка файла, обработка, распознавание и так далее. Кроме того, необходимо учитывать возможность получения неопределённых или частично корректных ответов, что обуславливает потребность в дополнительных инструментах для их валидации со стороны пользователя. Высокая нагрузка на систему при обработке

больших файлов диктует необходимость оптимизации всех взаимодействий с API для обеспечения стабильности. Отдельное внимание следует уделить вопросам защиты данных, поскольку обрабатываемые документы могут содержать конфиденциальную или персональную информацию. Следовательно, специфика создания пользовательского интерфейса в системах, связанных с ML, выходит за рамки классической разработки и требует отдельного рассмотрения.

Frontend-разработка в системах распознавания документов — это не просто оболочка, а критически важный компонент, который выступает посредником между пользователем и сложной логикой машинного обучения. Главная задача заключается в том, чтобы сделать этот процесс прозрачным. На этапе загрузки и подготовки данных должен быть предоставлен понятный интерфейс, к примеру, через перетаскивание или классический диалог выбора файлов. Система обязана проводить предварительную валидацию: проверять тип файла (формат PDF, JPG, JPEG, PNG, TIF, TIFF, GIF, GIFF, BMP, WEBP, DOCX, DOC, RTF, ODT, PPTX, PPT, ODP, XLSX, XLS, ODS), его размер (чтобы не перегрузить сервер) и целостность. Полезной функцией является предпросмотр загруженного документа, чтобы пользователь мог убедиться, что отсканировал нужную страницу и она не перевернута, не обрезана и не размыта. На этом же этапе предлагается базовая клиентская обработка: коррекция ориентации изображения или его обрезка.

Также важной задачей frontend-разработки является интерактивная визуализация результатов. Просто вывести распознанный текст недостаточно. Пользователь должен видеть, что и с какой уверенностью распознала модель. Для этого применяется техника привязки распознанного текста (OCR) к исходным областям изображения. Текст выделяться цветными рамками, где цвет указывает на уровень уверенности модели: зеленый для высоких значений, желтый для средних и красный для низких. Это сразу направляет внимание пользователя на потенциальные проблемы. Аналогично, для классификации документов полезно визуализировать вероятности, в виде графика или процентов рядом с предполагаемым типом документа («Паспорт — 97%, Водительские права — 3%»). Такой подход превращает результат модели в понятный инструмент.

Поскольку модели не идеальны, фронтенд должен быть спроектирован для обработки неопределенности. Он не должен требовать от системы стопроцентной точности, а вместо этого давать пользователю простые и быстрые инструменты для исправления ошибок. Распознанные данные должны отображаться в интерактивных полях ввода, которые можно легко редактировать. Для

полей с низкой уверенностью можно автоматически подсвечивать их. Эффективным решением является интерфейс сплит-вида, где справа отображается оригинал документа, а слева форма с распознанными данными, что позволяет быстро сверять информацию и вносить правки.

Интеграция с моделями машинного обучения — это нетривиальная задача, напрямую влияющая на удобство работы пользователя. Процесс распознавания документов может занимать от нескольких секунд до нескольких минут, поэтому интерфейс не должен «зависать» в ожидании ответа. Нужно реализовать механизм обработки долгих запросов через web-sockets. Пользователь должен видеть понятные статусы — «распознавание выполняется», «готово» или «произошла ошибка».

Важно также предусмотреть надёжную обработку ошибок — от таймаутов и сбоев соединения до внутренних ошибок ML-модели и показывать понятные сообщения, объясняющие, что произошло и что можно сделать дальше.

Все эти функции должны быть объединены в удобный и доступный интерфейс. Он должен быть понятным даже для новичков. Каждый шаг процесса нужно сопровождать ясными инструкциями и подсказками. Все элементы интерфейса должны быть доступны с клавиатуры, а визуальные подсказки продублированы текстом для людей с ограниченными возможностями. Хорошо продуманный интерфейс упрощает сложные технологии, делая их использование легким и предсказуемым — это и обеспечивает успех решения.

Создание подобного интерфейса требует больших ресурсов и высокой квалификации разработчиков. Поэтому на этапе проектирования архитектуры и выбора технологий важно тщательно изучить уже существующие решения. Анализ их возможностей, ограничений, особенностей лицензирования и архитектуры помогает лучше понять рынок, определить сильные и слабые стороны конкурентов и сформулировать требования к собственной системе. Такой подход позволяет использовать проверенные практики и избежать типичных ошибок при разработке.

На основе актуальных данных был проведен сравнительный анализ уже существующих решений на рынке систем распознавания документов, каждый из которых демонстрирует уникальный подход к архитектуре и набору поддерживаемых функций.

ContentaAI представляет собой корпоративное решение, ориентированное на автоматизацию ввода и классификации документов. Система поставляется в виде готового коробочного продукта и может быть развернута как локально,

так и в облачной среде. Гибкая система шаблонов позволяет создавать и редактировать правила извлечения данных без привлечения разработчиков или специалистов от вендора, что делает систему удобной для масштабного корпоративного использования. К недостаткам можно отнести ограниченную поддержку форматов исходных документов — система не работает напрямую с файлами Microsoft Office, требуя предварительного преобразования в графический.

ContentReader Engine, также от ContentaAI, представляет собой комплект (SDK) для интеграции возможностей оптического распознавания текста (OCR) в сторонние приложения и системы. Система способна работать более чем с 200 языками, включая редкие и исторические, а также языки программирования. Поскольку ContentReader Engine не имеет готового пользовательского интерфейса и инструментов визуальной настройки, интеграция требует участия квалифицированных разработчиков. Клиенту необходимо самостоятельно реализовать интерфейс, логику обработки исключений, управление задачами и хранение результатов. Это увеличивает затраты на внедрение и повышает требования к технической команде.

Dbrain облачная платформа, специализирующаяся на автоматической верификации документов и проверке подлинности личности. В отличие от классических систем OCR, Dbrain делает акцент не столько на извлечении данных из документов, сколько на подтверждении их достоверности и предотвращении мошенничества. Одним из главных преимуществ Dbrain является наличие встроенного антифрод-модуля, способного определять признаки подделки документов, несанкционированных изменений изображений и подмены данных. Платформа Dbrain работает в облаке и предоставляет готовый пользовательский интерфейс станции верификации, через который операторы могут просматривать результаты проверки, подтверждать или отклонять документы. К недостаткам можно отнести ограничение у пользователей, которые не могут самостоятельно создавать или настраивать шаблоны документов — этот процесс жёстко контролируется поставщиком, что снижает адаптивность системы под специфические нужды организации.

SmartEngines является узкоспециализированным вендором с фокусом на безопасности и проверке подлинности. Компания специализируется на высокоточном анализе изображений и безопасности, что делает её продукты востребованными в сферах, где критически важно качество верификации — в банках, аэропортах, государственных системах идентификации и крупных корпоративных службах безопасности. SmartEngines поддерживает более 3000 типов доку-

ментов. Система также отличается высокой скоростью обработки и низкими требованиями к ресурсам, что позволяет внедрять её даже на мобильных устройствах или встроенных терминалах. Продукт поставляется исключительно в виде SDK, требующих интеграции в существующие программные продукты. Для внедрения такого решения необходима команда разработчиков и системных архитекторов, что увеличивает затраты и время развертывания.

На фоне представленных аналогов проект Атом.ОКО демонстрирует готовую платформу для корпоративных решений. Проект ориентирован на создание гибкой, настраиваемой среды для интеллектуальной обработки документов, где пользователь может не только работать с готовыми функциями, но и самостоятельно выстраивать бизнес-логику под конкретные задачи. Ключевыми компонентами системы являются классификатор документов, обучаемый на пользовательских данных, шаблонизатор для извлечения структурированной информации, настройка атрибутов, файловая система с папками и персональными документами пользователя и интерактивная среда построения бизнес-процессов, реализованная на основе React Flow. Последняя позволяет визуально конструировать логику обработки — от этапа загрузки и распознавания до сохранения результатов и интеграции с внешними системами. Такой подход делает «Атом.ОКО» не просто OCR продуктом, а полноценной платформой для автоматизации документооборота с элементами low-code-разработки.

Кроме того, система включает административный модуль, обеспечивающий управление пользователями, ролями и правами доступа к различным типам документов. Это делает платформу масштабируемой и пригодной к использованию как в небольших компаниях, так и в крупных организациях.

К его ключевым преимуществам можно отнести российское происхождение, возможность работы в изолированном контуре и отсутствие ограничений по масштабированию.

Основными зонами роста для Атом.ОКО являются расширение поддержки языков распознавания за пределы кириллицы, латиницы и китайского, а также увеличение количества готовых шаблонов документов по сравнению с такими вендорами, как SmartEngines. При этом проект представляет собой перспективное отечественное решение, которое благодаря высокой гибкости и активному развитию имеет все шансы занять стабильную позицию на рынке. Особенно это актуально для корпоративных заказчиков, ценящих возможность глубокой кастомизации процессов и независимость от сторонних API.

Таким образом, современные системы распознавания документов объединяют технологии машинного обучения и удобный пользовательский интерфейс. Фронтенд в таких решениях уже не просто показывает результаты работы алгоритма, а играет активную роль в организации взаимодействия пользователя с системой. Успех системы во многом зависит от того, насколько легко и удобно пользователь может выполнять свои задачи — от загрузки документа до проверки и корректировки извлечённой информации.

Проведенный анализ показывает, что проектирование такого интерфейса имеет свои особенности по сравнению с обычной фронтенд-разработкой. Необходимо учитывать промежуточные статусы распознавания, работать с областями документа, в которых модель не уверена, и создавать инструменты для простой проверки и исправления данных. Эти принципы были учтены при сравнении существующих решений на рынке, где можно выделить как готовые платформы с развитым интерфейсом, так и специализированные SDK, которые требуют глубокой интеграции в собственные системы.

Список литературы

1. Nadukuda, N. Automating Front-End Development with AI: From Code Generation to Intelligent Debugging // International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIAP). – 2023. – сайт URL: <https://iaeme.com> (дата обращения: 06.09.2025).
2. Goh, H. A. Front-end Deep Learning Web Apps Development and Deployment // International Journal of Computational Intelligence Systems. – Springer, 2023.
3. Благодельский, А. С. Применение искусственного интеллекта в фронтенд-разработке: от теории к практике // Информационные технологии и программирование. – 2024. – сайт URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 06.09.2025).
4. Ведьманов, И. С. Интеллектуальные технологии для формирования взаимодействия компонентов системы: архитектура с фронтендом, бэкендом и ML-сервисом // Информационные системы и модели процессов. – 2025. – сайт URL: <https://mathnet.ru> (дата обращения: 06.09.2025).
5. Давлетов, А. Р. Главные трудности при интеграции машинного обучения в коммерческую эксплуатацию // Современные технологии. – 2023. – сайт URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 06.09.2025).

6. Машинное обучение в продуктовой разработке, где его не ожидают: сайт URL: <https://habr.com/> (дата обращения: 06.09.2025)

7. AI для frontend: модели для генерации интерфейса: сайт URL: <https://tproger.ru> (дата обращения: 06.09.2025)

References

1. Nadukuda, N. Automating Front-End Development with AI: From Code Generation to Intelligent Debugging // *International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIAP)*. – 2023. – URL: <https://iaeme.com> (accessed: 06.09.2025).

2. Goh, H. A. Front-end Deep Learning Web Apps Development and Deployment // *International Journal of Computational Intelligence Systems*. – Springer, 2023.

3. Blagodelsky, A. S. Application of Artificial Intelligence in Front-End Development: From Theory to Practice // *Information Technologies and Programming*. – 2024. – URL: <https://cyberleninka.ru> (accessed: 06.09.2025).

4. Vedmanov, I. S. Intelligent Technologies for Organizing Component Interaction: Architecture with Front-End, Back-End, and ML Service // *Information Systems and Process Models*. – 2025. – URL: <https://mathnet.ru> (accessed: 06.09.2025).

5. Davletov, A. R. Main Challenges in Integrating Machine Learning into Commercial Operation // *Modern Technologies*. – 2023. – URL: <https://cyberleninka.ru> (accessed: 06.09.2025).

6. Machine Learning in Product Development Where It Is Least Expected // URL: <https://habr.com> (accessed: 06.09.2025).

7. AI for Front-End: Models for Interface Generation // URL: <https://tproger.ru> (accessed: 06.09.2025).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО МЕДИЦИНСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

В.Д. Косых

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

Аннотация. В работе рассматриваются современные методы искусственного интеллекта для диагностики заболеваний по данным снимков, а также возможность глубокого обучения для классификации патологий и выделения преимущества алгоритма и использования в практике.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, глубокое обучение, компьютерная диагностика, медицинские изображения, сверточные нейронные сети, анализ снимков, CAD-системы.

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO DIAGNOSE DISEASES BASED ON MEDICAL IMAGES

V.D. Kosykh

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

Abstract. The paper discusses modern artificial intelligence methods for diagnosing diseases based on imaging data, as well as the possibility of deep learning to classify pathologies and highlight the advantages of the algorithm and its use in practice.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, deep learning, computer diagnostics, medical images, convolutional neural networks, image analysis, CAD systems.

Сейчас, когда время ценный ресурс, а точность самое важное в медицине, на помощь приходит искусственный интеллект (ИИ). Одной из наиболее совершенных и быстро развивающихся областей его применения является анализ медицинских изображений. Алгоритмы машинного обучения учатся читать КТ,

МРТ, рентгеновские снимки с такой точностью, порой лучше, чем человек. Здесь и открывается новый этап высокоточной диагностики.



Рисунок 1 – МРТ-снимок мозга человека

В основе технологии лежит глубокое обучение (deep learning), а точнее сверточные нейронные сети (CNN — Convolutional Neural Networks). Эти алгоритмы разработаны так же, как и анализаторы зрения человека. Они подходят для обработки изображений.

Процесс можно разделить на три этапа:

- Обучение на больших данных

ИИ обучается широкому спектру анонимных медицинских изображений с десятками тысяч примеров. Каждый снимок расшифрован опытными врачами - рентгенологами: отмечено, где есть отклонение (опухоль, поражение, перелом и т.д.) или вариант нормы, где рентгенограмма «чистая». Алгоритм ищет аномалию и определяет к какому заболеванию относится;

- Выявление признаков

Врач, который описывает снимок, визуально ищет определенные отклонения поверхностно. В тоже время искусственный интеллект изучает результат исследования досконально, то есть вплоть до микроскопических черт;

- Формирование результата

Далее обученный алгоритм анализирует новый снимок, который ранее не был в его базе данных. Он не выносит конечный диагноз, а только лишь

помогает, выступая в роли системы поддержки принятия решений (CAD — Computer-Aided Diagnosis).

Результатом работы данного процесса является:

- Обнаружение

На подозрительные участки ставится отметка. Например, если обнаружено образование или отклонение от нормы, то алгоритм сообщает с какой вероятностью оно обнаружено;

- Классификация

Определение типа отклонения (доброкачественная или злокачественная опухоль);

- Сегментация

Точное определение границ патологии (что важно для планирования хирургического вмешательства или оценки степени поражения).

Практическое применение нашло себя в разных ответвлениях медицины:

- Онкология

Машинный интеллект показывает хорошие результаты при обследовании и выявлении рака молочной железы, исследуя маммограммы, тем самым уменьшая ложноотрицательные результаты. Так же анализируются КТ-снимки, где на ранних стадиях можно выявить рак легких или другие заболевания, где нету никакой симптоматики, но есть высокие шансы на излечение;

- Неврология

Алгоритмы помогают диагностировать инсульты по компьютерной томографии (КТ), определяя тип (ишемический или геморрагический) и объем пораженной ткани, что ускоряет принятие решения о лечении. Искусственный интеллект также используется для мониторинга прогрессирования рассеянного склероза и болезни Альцгеймера по МРТ-снимкам;

- Кардиология

Нейронные сети могут оценить объем бляшек в коронарных артериях по КТ и МРТ сердца, а также анализировать функции желудочков и определение риска сердечного приступа;

- Ортопедия

Рентгеновские снимки анализируются для выявления переломов, вывихов и других дефектов.

Преимущества и возможности данных технологий:

- Скорость и эффективность

Сокращает количество работы радиолога и время ожидания пациента;

- Повышение точности

Снижение человеческого фактора (усталости, невнимательности, субъективной оценки);

- Ранняя диагностика

Способность обнаруживать даже небольшие отклонения, которые незаметны человеку;

- Количественный анализ

ИИ дает точные характеристики (размер, объем, плотность опухоли), что позволяет мониторить динамику заболевания и какое действие оказывает лечение.

Недостатки:

- «Черный ящик»

Трудно понять, на какую информацию ссылается алгоритм и принимает конкретное решение;

- Качество данных

Алгоритм изучает ту базу данных, которую ему предоставили. То есть, если не будет определенных снимков, то точность для определения отклонения становится ниже;

- Юридическая ответственность;

- Интеграция в рабочий процесс

Технология не должна полностью заменить человека-врача, а внедриться в рабочий процесс как помощник.

Хорошее будущее за сотрудничеством, когда врачи используют аналитические возможности ИИ для обработки данных, в то время как сами сосредоточены на более важных вещах: определении результатов лечения всего пациента, принятии окончательных решений.

Список литературы

- 1 Абрамешин А.Е., Романов С.В., Гребенников А.В. Применение технологий искусственного интеллекта для анализа медицинских изображений // Информационно-управляющие системы. – 2022. – № 6. – С. 12-23.
- 2 Добровольский Н.М., Коряковский Ю.Г., Моисеев А.А. Нейросетевые методы в обработке рентгеновских и томографических изображений: современное состояние и перспективы // Радиология – практика. – 2023. – № 1. – С. 45-56.
- 3 Иванов С.С., Петров В.В., Сидоров А.А. Глубокое обучение в диагностике онкологических заболеваний по данным КТ и МРТ // Онкоинформатика. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 78-89.
- 4 Куликов Е.А., Семенов А.С. Алгоритмы машинного обучения для автоматического обнаружения патологий на флюорографических снимках // Биотехносфера. – 2023. – № 2 (52). – С. 34-41.
- 5 Пыхтин В.Г., Лебедев Г.С., Смирнов К.В. Цифровая обработка изображений: учебное пособие для вузов. – Воронеж: ВГЛУТУ, 2022. – 145 с.
- 6 Семыкин В.А., Манухов В.Ф. Математические методы и алгоритмы обработки биомедицинских данных: монография. – Воронеж: ВГЛУТУ, 2023. – 198 с.
- 7 Соколов И.В., Федоров А.Д., Михайлов А.Н. Автоматизация скрининга социально значимых заболеваний с помощью сверточных нейронных сетей // Социальные аспекты здоровья населения. – 2022. – Т. 68, № 4. – С. 112-125.
- 8 Тихонов А.Н., Арсеньев Д.Г. Искусственный интеллект в лучевой диагностике: обзор современных возможностей и ограничений // Медицинская визуализация. – 2023. – № 1. – С. 88-97.
- 9 Фролов А.А., Шишкин С.Л., Демин В.В. Применение методов компьютерного зрения для анализа гистологических препаратов // Клеточная технология в биологии и медицине. – 2022. – № 3. – С. 67-74.
- 10 Шкарин В.В., Зарубин А.П., Макаров И.С. Технологии искусственного интеллекта в здравоохранении: этические и правовые challenges // Бюллетень сибирской медицины. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 134-142.

References

1. Abrameshin A.E., Romanov S.V., Grebennikov A.V. Application of artificial intelligence technologies for medical image analysis // Information and control Systems. – 2022. – No. 6. – pp. 12-23.
2. Dobrovolsky N.M., Koryakovskiy Yu.G., Moiseev A.A. Neural network methods in X-ray and tomographic image processing: current state and prospects // Radiology - practice. - 2023. – No. 1. – pp. 45-56.
3. Frolov A.A., Shishkin S.L., Demin V.V. Application of computer vision methods for the analysis of histological preparations // Cell technology in biology and medicine. - 2022. – No. 3. – pp. 67-74.
4. Ivanov S.S., Petrov V.V., Sidorov A.A. Deep learning in the diagnosis of oncological diseases based on CT and MRI data // Oncoinformatics. – 2022. – Vol. 8, No. 4. – pp. 78-89.
5. Kulikov E.A., Semenov A.S. Machine learning algorithms for automatic detection of pathologies on fluorographic images // Biotechnosphere. – 2023. – № 2 (52). – Pp. 34-41.
6. Pykhtin V.G., Lebedev G.S., Smirnov K.V. Digital image processing: a textbook for universities. Voronezh: VGLTU, 2022. 145 p.
7. Semykin V.A., Manukhov V.F. Mathematical methods and algorithms of biomedical data processing: monograph. Voronezh: VGLTU, 2023. 198 p.
8. Shkarin V.V., Zarubin A.P., Makarov I.S. Artificial intelligence technologies in healthcare: ethical and legal challenges // Bulletin of Siberian Medicine. – 2023. – Vol. 22, No. 1. – pp. 134-142.
9. Sokolov I.V., Fedorov A.D., Mikhailov A.N. Automation of screening of socially significant diseases using convolutional neural networks // Social aspects of public health. – 2022. – Vol. 68, No. 4. – pp. 112-125.
10. Tikhonov A.N., Arsenyev D.G. Artificial intelligence in radiation diagnostics: an overview of modern possibilities and limitations // Medical imaging. - 20235

МОСТ МЕЖДУ ОРБИТОЙ И ЗЕМЛЕЙ: СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ И ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ НА МКС

В.Д. Косых

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

Аннотация. В статье произведен анализ обеспечения связи и передачи данных между МКС и Землей. Рассматривается организация спутниковых каналов связи, протоколы передачи данных и перспективы развития коммуникаций. Также было уделено внимание роли современных IT-решений в поддержании надежной связи с экипажем МКС.

Ключевые слова: МКС, спутниковая связь, передача данных, телеметрия, ЦУП, космические коммуникации, низкоорбитальные спутники, задержка сигнала, IP-протоколы в космосе.

THE BRIDGE BETWEEN ORBIT AND EARTH: SATELLITE COMMUNICATIONS AND DATA TRANSMISSION TO THE ISS

V.D. Kosykh

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

Annotation. The article analyzes the communication and data transmission between the ISS and the Earth. The organization of satellite communication channels, data transmission protocols and communication development prospects are considered. Attention was also paid to the role of modern IT solutions in maintaining reliable communication with the ISS crew.

Keywords: ISS, satellite communications, data transmission, telemetry, MCC, space communications, low-orbit satellites, signal delay, IP protocols in space.

Международная космическая станция (МКС), расположенная примерно в 400 километрах над Землей, является не только научной лабораторией, но и сложным информационным центром. Обеспечение непрерывной и надежной связи между МКС и наземными центрами управления является важной задачей, от которой зависит безопасность экипажа и успех научных экспериментов. Со-

временные IT-технологии позволяют организовать этот "мост" с использованием сложной архитектуры спутниковых систем и специальные протоколы передачи данных.



Рисунок 1 – Международная космическая станция (МКС)

Система связи Международной космической станции (МКС) построена по комбинированному принципу и включает несколько основных компонентов:

- Спутниковая система ретрансляции данных (TDRSS)

Американские спутники TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System), расположенные на геостационарной орбите, они образуют практически непрерывный канал связи между МКС и наземными станциями. Это предотвращает потерю сигнала при отсутствии видимости на наземной станции;

- Наземные приемные станции

Российские и американские земные станции создают сеть перехвата данных, расположенную в разных частях планеты, обеспечивая покрытие крупнейшего орбитального маршрута МКС;

- Система бортовая аппаратура связи

На самой станции установлено оборудование, которое состоит из:

- Высокоскоростные передатчики и приемники;
- Цифровые системы обработки сигналов;
- Антенные системы с автоматическим наведением.

Передача данных осуществляется с использованием специальных протоколов в соответствии с требованиями пространственных коммуникаций:

- Протокол CFDP (CCSDS File Delivery Protocol)

Надежный стандартный протокол передачи файлов был разработано Консультативным комитетом по системам передачи пространственных данных. Это обеспечивает надежность передачи данных при передаче по каналам с высокой задержкой и потенциальными помехами;

- Система телеметрии в реальном времени

Данные о состоянии систем станции и состоянии здоровья экипажа передаются с высокой частотой цифровизации, что требует эффективных алгоритмов для определения нагрузки и приоритета данных.

Современные системы связи используют VoIP-технологии для управления многоканальной связью между станциями, ЦУПами (центр управления полетами), а также семьями космонавтов. Обычные сеансы видеосвязи осуществляются с использованием кодеков H.265, адаптированных для работы в условиях ограниченной пропускной способности канала.

Пропускная способность асимметрична, скорость приема достигает 600 Мбит/с и отправки до 25 Мбит/с, что позволяет передавать огромные массивы научной информации и видео.

Сигнал до спутников и обратно проходит примерно за 500 мс (полсекунды), создавая задержку. Поэтому требуются специальные алгоритмы для управления системами станции в реальном времени, чтобы избежать эту задержку.

Защита каналов связи от несанкционированного доступа является приоритетной задачей. Используются:

- Квантово-стойкие алгоритмы шифрования

Метод шифрования, который невозможно взломать;

- Многофакторная аутентификация

Процесс подтверждения личности в несколько этапов;

- Системы обнаружения вторжений в реальном времени

Специальное ПО, которое анализирует трафик и моментально реагирует на кибератаки.

Развитие систем связи МКС связано с внедрением:

- Лазерных систем передачи данных

Лазерный луч вместо радиоволны передает информацию, что и позволяет иметь большие (гигабайты) скорости для передачи;

- Квантовой связи

Метод защищенной передачи данных, который обнаруживает попытку перехвата сообщения;

- ИИ-оптимизации трафика;
- Интеграции с системами Starlink и OneWeb.

Организация надежной и эффективной связи с МКС - один из наиболее сложных и технологичных IT-проектов на сегодняшний день. Постоянное совершенствование коммуникационных технологий обеспечивает не только бесперебойную связь с космонавтами, но и позволяет передавать большие объемы информации. Это нужно и важно для проведения экспериментов на станции, а также освоения безграничного космоса.

Список литературы

1. Громов, К.А. Кибербезопасность космических систем связи / К.А. Громов // Защита информации. Инсайд. – 2023. – № 1. – С. 56-63.
2. Джонсон М. Разработка систем спутниковой связи / М. Джонсон, Х. Робертс. – Спрингер, 2022. – 318 с.
3. Иванов, А.В. Космические системы связи: современные технологии и перспективы развития / А.В. Иванов // Космическая техника и технологии. – 2023. – № 4(35). – С. 12-25.
4. Козлов, Д.В. Цифровая обработка сигналов в спутниковой связи / Д.В. Козлов // Электроника и связь. – 2023. – № 2. – С. 67-74.
5. Мартинес, Л. Космические интернет-технологии следующего поколения / Л. Мартинес // Акт космонавтики. – 2022. – Том 191. – С. 164-175.
6. Петров, С.М. Протоколы передачи данных в космических системах связи / С.М. Петров, Е.В. Сидорова // Информационные технологии в телекоммуникациях. – 2022. – № 3. – С. 45-53.
7. Смирнов, В.П. Системы телеметрии и управления космическими аппаратами / В.П. Смирнов // Автоматика и телемеханика. – 2022. – № 5. – С. 34-42.
8. Технологии беспроводной передачи данных в экстремальных условиях: монография / О.И. Смирнова, В.К. Белов; Воронежский государственный лесотехнический университет. – Воронеж: ВГЛТУ, 2023. – 184 с.

9. Томпсон Р. Протоколы и стандарты космической связи / Р. Томпсон // Международный журнал спутниковой связи. – 2022. – Том 40, Выпуск 3. – С. 215-230.

10. Федеральное космическое агентство. Технический регламент систем связи МКС. – М.: Роскосмос, 2023. – 156 с.

References

1. Federal Space Agency. Technical regulations of the ISS communication systems. Moscow: Roscosmos, 2023. 156 p.

2. Gromov, K.A. Cybersecurity of space communication systems / K.A. Gromov // Information protection. Insid. – 2023. – No. 1. – pp. 56-63.

3. Ivanov, A.V. Space communication systems: modern technologies and development prospects / A.V. Ivanov // Space engineering and Technology. – 2023. – № 4(35). – Pp. 12-25.

4. Johnson M. Development of satellite communication systems / M. Johnson, H. Roberts. – Springer, 2022. – 318 p.

5. Kozlov, D.V. Digital signal processing in satellite communications / D.V. Kozlov // Electronics and communications. – 2023. – No. 2. – pp. 67-74.

6. Martinez, L. Space Internet technologies of the next generation / L. Martinez // The act of cosmonautics. – 2022. – Volume 191. – pp. 164-175.

7. Petrov, S.M. Data transmission protocols in space communication systems / S.M. Petrov, E.V. Sidorova // Information technologies in telecommunications. 2022. No. 3. pp. 45-53.

8. Smirnov, V.P. Systems of telemetry and control of spacecraft / V.P. Smirnov // Automation and telemechanics. - 2022. – No. 5. – pp. 34-42.

9. Thompson R. Protocols and standards of space communications / R. Thompson // International Journal of Satellite Communications. – 2022. – Volume 40, Issue 3. – pp. 215-230.

10. Wireless data transmission technologies in extreme conditions: a monograph / O.I. Smirnova, V.K. Belov; Voronezh State Forestry Engineering University. Voronezh: VGLTU, 2023. 184 p.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НОСИМОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧЕЛОВЕКА

В.Д. Косых, М.А. Осипов

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

Аннотация. В работе рассматриваются современные технологии, предназначенные для мониторинга физиологических показателей человека. Детально проходит анализ их работы, а также основные типы и возможности для применения в других сферах: спорт, медицина и повседневная жизнь.

Ключевые слова: носимая электроника, фитнес-трекеры, умные часы, мониторинг здоровья, телемедицина, биосенсоры.

THE USE OF WEARABLE ELECTRONICS TECHNOLOGIES FOR MONI- TORING HUMAN PHYSIOLOGICAL PARAMETERS

V.D. Kosykh, M.A. Osipov

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

Annotation. The paper considers modern technologies designed to monitor human physiological parameters. A detailed analysis of their work is carried out, as well as the main types and possibilities for use in other fields: sports, medicine and everyday life.

Keywords: wearable electronics, fitness trackers, smart watches, health monitoring, telemedicine, biosensors.

Одним из самых быстрорастущих сегментов рынка являются носимые электронные устройства. Технологии шагнули вперед, ранее был только подсчет шагов, а теперь есть и другие мощные инструменты, которые непрерывно мониторят состояние здоровья (измерение кислорода в крови, давление, пульс,

шаткость походки и так далее), где отчет отправляется пользователю или врачу в реальном времени.

К носимой электронике относят такие устройства, которые внедряются в одежду, аксессуары (умные часы или фитнес-браслеты) или даже импланты в тело. Основным преимуществом является бесконтактная передача информации, которую можно получать в естественной среде, а не в клинике.



Рисунок 1 – Виды носимой электроники

Ключевые физиологические показатели:

- Сердечная деятельность

Оптический плезиографический датчик (PPG) в фитнес-трекерах отслеживает частоту сердечных сокращений (ЧСС) и колебания сердечного ритма. Электрокардиограмма (ЭКГ) в умных часах (Apple Watch, Samsung Galaxy Watch8) указывает на симптомы фибрилляции предсердий;

- Физическая активность

Акселерометры и гироскопы точно подсчитывают шаги, показывают пройденный километраж, а также какая активность была (бег, ходьба, езда на велосипеде, плавание) и сколько калорий ушло за период тренировки или прогулки;

- Сон

Когда мы спим происходит анализ нашего сна, качественный ли он и в каких фазах мы находимся. Определяется от наших движений и ЧСС (частота сердечных сокращений);

- Кислород в крови

Во времена COVID-19 были актуальны пульсоксиметры. Они измеряли уровень кислорода в крови, а теперь эта функция встроена в электронику;

– Прочие показатели

Новейшие устройства могут измерять температуру тела. Это важно для тех, кто планирует беременность, то есть для отслеживания овуляции, или получать сигнал о начале заболевания, когда температура поднимается. Изучается электрокожная активность, которая определяет уровень стресса.

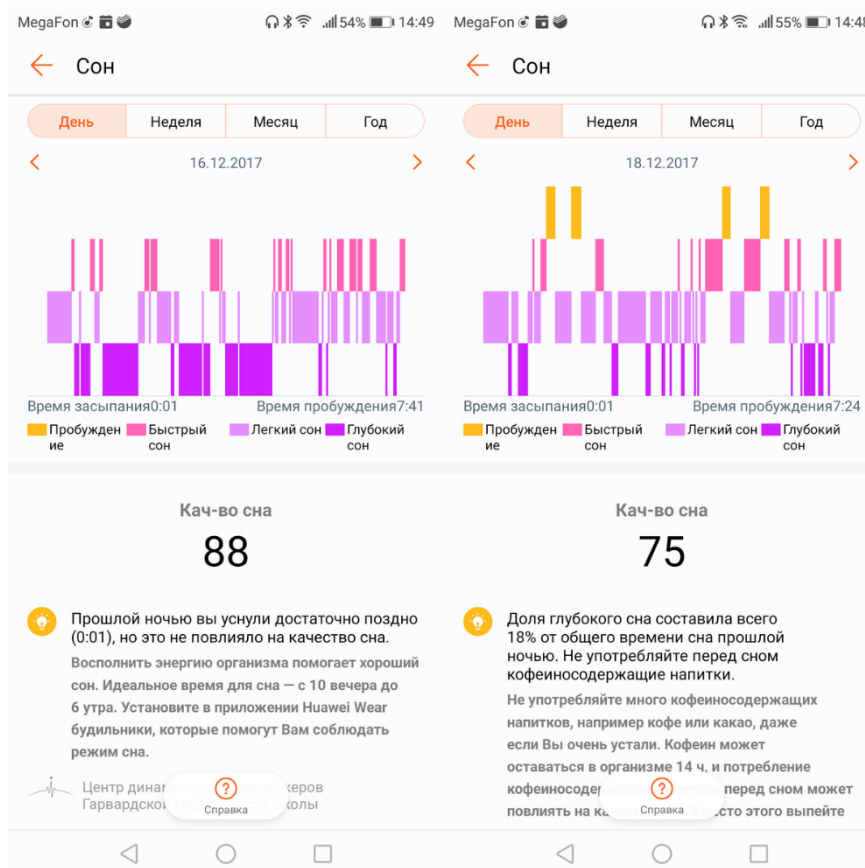


Рисунок 2 – График сна с умных часов

Данные технологии применяются в следующих сферах:

– Спорт и фитнес

Функции и данные позволяют оптимизировать тренировочный процесс, человек контролирует нагрузки на организм и не допускает перетренированности на организм;

– Персонализированная медицина

Пациенты, имеющие хронические заболевания, могут удаленно быть под присмотром врача с помощью облачных технологий;

– Профилактика и ранняя диагностика

При малых изменениях в показателях устройство обнаруживает это и присылает уведомление о том, что нужно обратиться к врачу, тем самым перестраховываясь до появления серьезных симптомов.

Несмотря на стремительный технологический прогресс, появляются следующие вопросы: какова точность измерений, куда уходят считанные данные, а правильно ли интерпретируются данные (гипердиагностика и ложная тревога) и энергопотребление.

Носимые электронные технологии в корне меняют подход к здравоохранению. Уделяется особое внимание профилактике и лечению заболеваний, а также их раннее выявление. Они позволяют человеку лучше понять свое тело, а также отвечать за свое здоровье. Будущее этой области заключается в создании системы, в которой данные с устройств можно будет безопасно и эффективно использовать для создания персональных и предсказательной модели медицины.

Список литературы

1. Иванов, А.В. Технологии интернета вещей в медицине: монография / А.В. Иванов, Б.С. Петров. – М.: Техносфера, 2023. – 185 с.
2. Кузьмин, В.А. Анализ данных с носимых устройств для оценки состояния здоровья / В.А. Кузьмин, Е.С. Соколова // Информационные технологии в здравоохранении. – 2023. – № 2. – С. 45-53.
3. Орлов, С.С. Современные биосенсоры в медицинской диагностике / С.С. Орлов // Датчики и системы. – 2022. – № 5. – С. 67-72.
4. Петренко, Д.В. Алгоритмы обработки сигналов с фитнес-трекеров для оценки физической активности / Д.В. Петренко, М.А. Федорова // Цифровая обработка сигналов. – 2022. – № 4. – С. 23-29.
5. Сидоров, К.А. Носимые устройства как элемент экосистемы умного города / К.А. Сидоров, Л.М. Иванова // Международный журнал информационных технологий. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 112-120.
6. Смирнов, П.К. Разработка программного обеспечения для сбора и анализа медицинских данных / П.К. Смирнов // Программная инженерия. – 2022. – № 8. – С. 34-41.
7. Технологии сбора и обработки данных с датчиков: учебное пособие / А.Н. Белов, Т.И. Воронова; Воронежский государственный лесотехнический университет (ВГЛТУ). – Воронеж: ВГЛТУ, 2023. – 154 с.

8. Федотов, А.М. Правовые аспекты использования персональных медицинских данных / А.М. Федотов // Информационное право. – 2023. – № 3. – С. 25-31.

9. Широкова, О.Д. Перспективы развития телемедицинских технологий в России / О.Д. Широкова // Социальные аспекты здоровья населения. – 2022. – Т. 68, № 6. – С. 134-142.

References

1. Fedotov, A.M. Legal aspects of the use of personal medical data / A.M. Fedotov // Information law. – 2023. – No. 3. – pp. 25-31.

2. Ivanov, A.V. Internet of Things technologies in medicine: a monograph / A.V. Ivanov, B.S. Petrov. Moscow: Technosphere, 2023. 185 p.

3. Kuzmin, V.A. Data analysis from wearable devices for health assessment / V.A. Kuzmin, E.S. Sokolova // Information technologies in healthcare. – 2023. – No. 2. – pp. 45-53.

4. Orlov, S.S. Modern biosensors in medical diagnostics / S.S. Orlov // Sensors and systems. - 2022. – No. 5. – pp. 67-72.

5. Petrenko, D.V. Algorithms for processing signals from fitness trackers for assessing physical activity / D.V. Petrenko, M.A. Fedorova // Digital signal processing. – 2022. – No. 4. – pp. 23-29.

6. Shirokova, O.D. Prospects for the development of telemedicine technologies in Russia / O.D. Shirokova // Social aspects of public health. – 2022. – Vol. 68, No. 6. – pp. 134-142.

7. Sidorov, K.A. Wearable devices as an element of the ecosystem of a smart city / K.A. Sidorov, L.M. Ivanova // International Journal of Information Technology. – 2023. – Vol. 15, No. 1. – pp. 112-120.

8. Smirnov, P.K. Software development for the collection and analysis of medical data / P.K. Smirnov // Software Engineering. - 2022. – No. 8. – pp. 34-41.

9. Technologies for collecting and processing data from sensors: a textbook / A.N. Belov, T.I. Voronova; Voronezh State Forestry Engineering University (VGLTU). Voronezh: VGLTU, 2023. 154 p.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ (ASR)

В.Д. Косых

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

Аннотация. В работе рассматриваются принципы функционирования и ключевые области применения систем автоматического распознавания речи (Automatic Speech Recognition, ASR). Анализируются основные технологические этапы преобразования аудио в текст. Так же рассматривается практическое применение данной системы в разных сферах. Освещаются перспективные направления развития.

Ключевые слова: автоматическое распознавание речи, ASR, преобразование речи в текст, транскрибация аудио, голосовые помощники, искусственный интеллект (ИИ), голосовые помощники, нейронные сети, субтитрование, обработка языка, языковая модель.

AUTOMATIC SPEECH RECOGNITION SYSTEMS (ASR)

V.D. Kosykh

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

Abstract. The paper discusses the principles of functioning and key areas of application of Automatic Speech Recognition (ASR) systems. The main technological stages of audio-to-text conversion are analyzed. The practical application of this system in various fields is also being considered. Promising areas of development are highlighted.

Keywords: automatic speech recognition, ASR, speech-to-text conversion, audio transcription, voice assistants, artificial intelligence (AI), voice assistants, neural networks, subtitling, language processing, language model.

Наши предшественники не могли и думать о том, что в будущем появится голосовое управление и расшифровка речи с аудио. Сегодня широко используется данная функция как обыденность, мы произносим: «Привет, Алиса, рас-

скажи о погоде» - и устройство выполняет запрос. За это отвечает технология – автоматическое распознавание речи (Automatic Speech Recognition, ASR). Это область искусственного интеллекта, которая есть на всех современных устройствах.

Процесс превращения звука в текст – многоуровневый алгоритм. Рассмотрим его подробнее:

- Акустический анализ

Здесь происходит оцифровка аналогового звукового сигнала. Отделяются фоновые шумы (гул, треск, посторонние звуки). Далее запись разбивается на отрезки (семплы). Для каждого отрезка выделяются свои акустические характеристики;

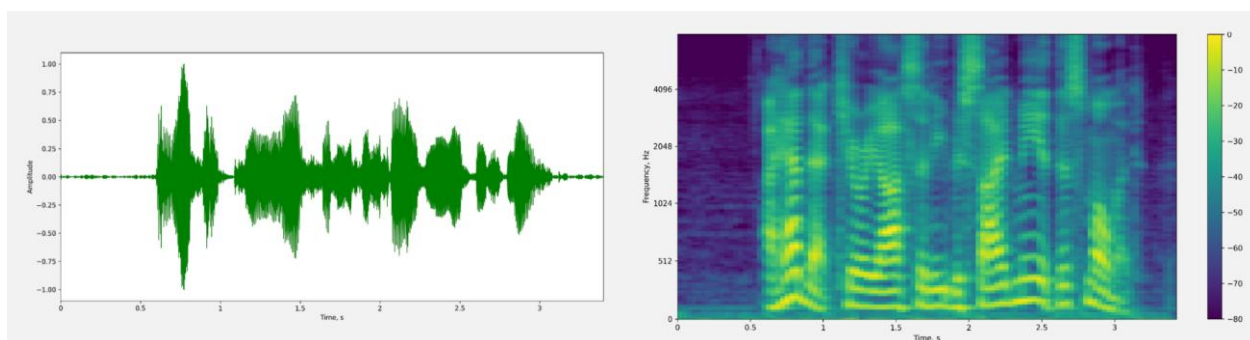


Рисунок 1 – Необработанная аудиозапись (слева) и мел-спектограмма (справа)

- Акустическое моделирование

На данном этапе сравниваются характеристики с фонемами – минимальные единицы звука. Современные модели делают это с высокой точностью;

- Языковое моделирование

Система так же анализирует контекст. Языковая модель предполагает последовательность слов, которая по смыслу может понять какое слово следует за другим;

- Декодирование

Заключительный этап, на котором подбирается наиболее оптимальный вариант между звуками и словами, результатом этого этапа является готовый текст.



Рисунок 2 – Алгоритм системы ASR

Система распознавания применяется в разных сферах:

- Субтитрирование и транскрибация

Самое массовое применение, увидеть вы можете при просмотре видео на YouTube, новостная лента в телевизоре, а также к любому видео в сети Интернет можно применить транскрибацию. Очень удобная система, которая помогает расшифровать невнятную речь или экономить время просмотра, сделав импорт текста;

- Голосовые помощники и умный дом

Алиса и Siri являются результатом развития ASR. Они не только выполняют команды, но и обучены быть собеседником, навигатором, что создает голосовое взаимодействие между системой и человеком. Так же эти помощники обеспечивают доступность людям с ограниченными возможностями;

- Клиентский сервис и колл-центры

Роботы, которые отвечают на звонки и ведут с Вами диалог, это тоже ASR, которая распознает речь и направляет в нужный отдел. Так же они используются для анализа записи разговоров, для того чтобы оценить качество работы и сервиса;

- Профессиональная сфера

Подходит для тех, кто использует платформы Zoom, Microsoft Teams, где предлагается функция live-транскрибация. То есть, весь деловой звонок превращается в текстовый документ.

Преимущества технологии ASR:

- Эффективность

Скорость преобразования преобладает над распознаванием человеком;

- Масштабируемость

Данная система одновременно может обработать тысячи часов записи;

- Автоматизация;

- Доступность.

Недостатки:

- Точность

Диалекты, незнакомые слова, а также шум, могут дезориентировать алгоритм;

- Контекст и специализация

Распознавание слов, которые относятся к определенной специальности, требует переобучение модели;

- Конфиденциальность.

Современные системы не стоят на месте, а постоянно совершенствуют свой алгоритм. Следующим шагом будет распознавание эмоций в голосе, то есть система будет определять злобу, радость, грусть и другие эмоции. В врачебной практике думаю будет помогать определять какие-то психологические проблемы или болезни.

Система в фоновом режиме может обучаться и набираться лексики в определенной сфере (инженеры, юристы), чтобы правильно интерпретировать речь.

Так же нельзя опустить возможность, что можно воссоздать копию голоса, которая будет полезна в озвучке, а также людям с ограниченными возможностями, они смогут говорить с помощью синтезатора своим голосом.

Будущее ASR – переход от транскрибации к аудио-интерфейсу, который будет понимать пользователя, как человека или даже лучше. Данная система станет незаменимым посредником между человеком и цифровой средой.

Список литературы

1. Иванов, А. С., Петровский, А. В. Обработка речевых сигналов в системах автоматического распознавания речи: современные подходы / А. С. Иванов, А. В. Петровский // Вестник Воронежского государственного лесотехнического университета. – 2021. – Т. 15, № 2. – С. 45-58.
2. Козлов, М. Ю., Иванова, Т. Н. Глубокие нейронные сети и их применение в речевых технологиях / М. Ю. Козлов, Т. Н. Иванова // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 3. – С. 15-24.
3. Морозова, Е. П., Григорьев, К. А. Использование сверточных нейронных сетей для повышения точности распознавания речи / Е. П. Морозова, К. А. Григорьев // Журнал прикладной информатики. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 88-95.
4. Николаев, П. С., Орлова, М. В. Современные подходы к интеграции языковых моделей в системы распознавания речи / П. С. Николаев, М. В. Орлова // Информационные системы и технологии. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 55-64.
5. Рэдфорд, А., Ким, Дж. В., Сюй, Т., Брокман, Г., Макливи, К., Сутскевер, И. Надёжное распознавание речи с помощью масштабного слабого обучения // Международная конференция по машинному обучению (ICML). – 2023.
6. Соколова, Е. А., Кузнецов, В. П. Применение машинного обучения для анализа лингвистических данных в автоматическом распознавании речи / Е. А. Соколова, В. П. Кузнецов // Известия Воронежского государственного лесотехнического университета. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 112-125.
7. Юрафский, Д., Мартин, Дж. Х. Обработка речи и языка (3-е изд.) / Д. Юрафский, Дж. Х. Мартин. – Пирсон, 2023. – 1200 с.

References

1. Ivanov, A. S., Petrovsky, A.V. Speech signal processing in automatic speech recognition systems: modern approaches / A. S. Ivanov, A.V. Petrovsky // Bulletin of the Voronezh State Forestry University. – 2021. – Vol. 15, No. 2. – pp. 45-58.
2. Kozlov, M. Yu., Ivanova, T. N. Deep neural networks and their application in speech technologies / M. Yu. Kozlov, T. N. Ivanova // Information technologies and computing systems. - 2022. – No. 3. – pp. 15-24.
3. Morozova, E. P., Grigoriev, K. A. Using convolutional neural networks to improve speech recognition accuracy / E. P. Morozova, K. A. Grigoriev // Journal of Applied Informatics. 2023. Vol. 29, No. 2. pp. 88-95.
4. Nikolaev, P. S., Orlova, M. V. Modern approaches to the integration of language models into speech recognition systems / P. S. Nikolaev, M. V. Orlova // Information Systems and Technologies. – 2022. – Vol. 14, No. 3. – pp. 55-64.
5. Radford, A., Kim, J. V., Xu, T., Brockman, G., McLeavy, K., Sutskever, I. Reliable speech recognition using large-scale weak learning // International Conference on Machine Learning (ICML). – 2023.
6. Sokolova, E. A., Kuznetsov, V. P. Application of machine learning for linguistic data analysis in automatic speech recognition / E. A. Sokolova, V. P. Kuznetsov // Proceedings of the Voronezh State Forestry University. – 2019. – Vol. 12, No. 1. – pp. 112-125.
7. Yurafsky, D., Martin, J. H. Speech and Language Processing (3rd ed.) / D. Yurafsky, J. H. Martin. – Pearson, 2023. – 1200 p.

ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ ПРИ ДТП: АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ECALL И ЕЁ РОССИЙСКИХ АНАЛОГОВ В КОНТЕКСТЕ ИТ-ИНТЕГРАЦИИ

В.Д. Косых

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

Аннотация. В статье проводится анализ принципов работы и ИТ-инфраструктуры европейской системы экстренного реагирования при авариях eCall. Рассматриваются модули связи, обработка данных и интеграция с навигацией. Особое внимание уделено российским аналогам – системе ЭРА-ГЛОНАСС и перспективным разработкам.

Ключевые слова: eCall, ЭРА-ГЛОНАСС, экстренное реагирование, ITS, телематика, IoT, ГЛОНАСС, ДТП, автомобильная телематика, ИТ-инфраструктура.

EMERGENCY RESPONSE TECHNOLOGIES IN CASE OF AN ACCIDENT: ANALYSIS OF THE ECALL SYSTEM AND ITS RUSSIAN ANALOGUES IN THE CONTEXT OF IT INTEGRATION

V.D. Kosykh

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

Annotation. The article analyzes the principles of operation and IT infrastructure of the European emergency response system in case of eCall accidents. Communication modules, data processing and integration with navigation are considered. Special attention is paid to Russian analogues – the ERA-GLONASS system and promising developments.

Keywords: eCall, ERA-GLONASS, emergency response, ITS, telematics, IoT, GLONASS, road accidents, automotive telematics, IT infrastructure.

Машины постепенно превращаются из простых транспортных средств (ТС) в сложные комплексы, которые подключенные к сети. Одним из наиболее

важных применений информационных технологий являются системы экстренного реагирования на дорожно-транспортных происшествиях (ДТП). В Европе за это отвечает система eCall, а в России её полномасштабным аналогом выступает ЭРА-ГЛОНАСС. Их основная функция – автоматическое уведомление служб экстренной помощи о аварии, передача точных координат местонахождения и сокращения время прибытия помощи.

В основе системы eCall лежит комплекс аппаратных и программных решений:

- Аппаратный уровень

Автомобиль оснащается абонентским терминалом (IVS – In-Vehicle System), который включает в себя: модуль спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС), сотовый модуль (3G/4G), датчики (акселерометры, гироскопы) для определения резкого торможения или переворот автомобиля, микрофон и динамики для связи с оператором, резервный аккумулятор;

- Программный уровень

Алгоритмы постоянно анализируют данные датчиков. При обнаружении сигнала опасности система генерирует файл MSD (Minimum Set of Data) за одну секунду, который включает в себя: координаты места происшествия, время, когда произошло ДТП, информация о автомобиле (VIN – номер, тип топлива), количество активированных подушек безопасности;

- Сетевой уровень

Пакет данных MSD отправляются по мобильной сети на выделенный сайт получателя (PSAP – Public Safety Answering Point) – центр экстренной помощи. Сначала устанавливается голосовая связь, а затем одновременно передаются данные. Это позволяет оператору помочь с точными координатами, даже если связь нарушена.

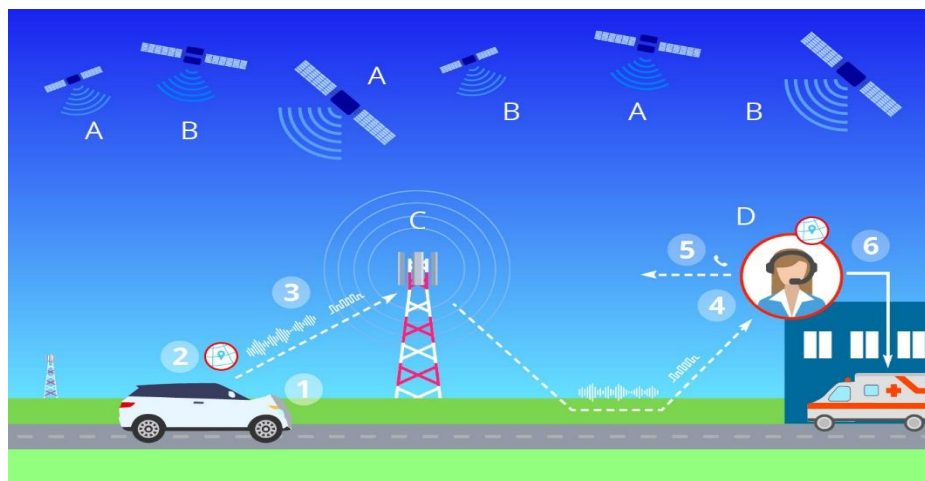


Рисунок 1 – Принцип действия eCall

Российская система ЭРА–ГЛОНАСС является аналогом eCall и имеет ключевые особенности:

- Национальная технологическая независимость

В качестве системы навигации используется ГЛОНАСС, а мобильная связь обеспечивается российскими операторами;

- Обязательное оснащение

С 2017 года все новые автомобили, продаваемые в России, должны быть оснащены ЭРА-ГЛОНАСС;

- Расширенная функциональность

В дополнение к автоматическим вызовам в случае ДТП, система также позволяет водителю самому нажать кнопку SOS, чтобы связаться с оператором.



Рисунок 2 – «ЭРА – ГЛОНАСС» на панели машины

Несмотря на свою полезность, внедрение этой системы сопряжено с трудностями:

- Кибербезопасность

Транспортные средства подвержены хакерским атакам, требующим сложных алгоритмов для шифрования данных;

- Конфиденциальность

Хранение информации о местоположении и перемещениях ТС;

- Технологическое развитие

Внедрение сетей 5G снижает задержку передачи данных. Подключение к беспилотному ТС сделает систему эффективнее, позволяя передавать не только информацию об инциденте, но и дистанционный контроль системы на борту вплоть до момента столкновения.

Системы eCall и ЭРА–ГЛОНАСС являются хорошими примерами того, как IT–технологии могут служить интересам общества и непосредственно помогать спасать человеческие жизни. Их развитие неотделимо от достижений в области телекоммуникаций, навигации и кибербезопасности. Дальнейшее объединение с интеллектуальными транспортными системами (ИТС) и беспилотным транспортом откроет новые возможности для обеспечения безопасности дорожного движения во всем мире.

Список литературы

1. Горелов, С.В. Интеллектуальные транспортные системы: современное состояние и перспективы / С.В. Горелов, А.А. Михайлов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2023. – № 5. – С. 45-52.

2. Ермаков, Д.А. Телематические услуги на автомобильном транспорте: анализ архитектуры и протоколов передачи данных / Д.А. Ермаков // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2022. – № 3. – С. 78-85.

3. Иванов, К.Л. Системы спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS: учебное пособие / К.Л. Иванов, М.П. Сидорова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2023. – 210 с.

4. Козлов, А.В. Алгоритмы обработки данных с датчиков транспортных средств для обнаружения инцидентов / А.В. Козлов // Датчики и системы. – 2022. – № 8. – С. 34-40.

5. Петров, В.С. Кибербезопасность интернета вещей в интеллектуальной транспортной инфраструктуре / В.С. Петров // Защита информации. Инсайд. – 2023. – № 1. – С. 56-63.
6. Семенов, И.А. Проектирование телематических устройств для мониторинга транспорта / И.А. Семенов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. – № 4. – С. 29-35.
7. Смирнова, О.И. Технологии беспроводной передачи данных в системах мониторинга: монография / О.И. Смирнова, В.К. Белов; Воронежский государственный лесотехнический университет (ВГЛТУ). – Воронеж: ВГЛТУ, 2023. – 168 с.
8. Федоров, Р.Н. Государственная система ЭРА-ГЛОНАСС: итоги внедрения и перспективы развития / Р.Н. Федоров // Автомобильная промышленность. – 2023. – № 2. – С. 12-15.
9. Цветков, А.А. Стандартизация протоколов обмена данными в системах экстренного реагирования / А.А. Цветков // Вестник связи. – 2022. – № 6. – С. 44-49.
10. Яковлев, Е.Д. Применение технологий Big Data в интеллектуальных транспортных системах мегаполиса / Е.Д. Яковлев // Международный журнал открытых информационных технологий. – 2023. – Т. 11, № 2. – С. 72-78.

References

1. Gorelov, S.V. Intelligent transport systems: current state and prospects / S.V. Gorelov, A.A. Mikhailov // Transport: science, technology, management. – 2023. – No. 5. – pp. 45-52.
2. Ermakov, D.A. Telematics services in road transport: analysis of architecture and data transmission protocols / D.A. Ermakov // Information technologies and computing systems. – 2022. – No. 3. – pp. 78-85.
3. Fedorov, R.N. The ERA-GLONASS State system: results of implementation and development prospects / R.N. Fedorov // Automotive industry. – 2023. – No. 2. – pp. 12-15.
4. Ivanov, K.L. GLONASS/GPS satellite navigation systems: a textbook / K.L. Ivanov, M.P. Sidorova. – M.: Hotline – Telecom, 2023. – 210 p.
5. Kozlov, A.V. Algorithms for processing data from vehicle sensors for incident detection / A.V. Kozlov // Sensors and systems. - 2022. – No. 8. – pp. 34-40.

6. Petrov, V.S. Cybersecurity of the Internet of Things in intelligent transport infrastructure / V.S. Petrov // Information protection. Insid. – 2023. – No. 1. – pp. 56-63.
7. Semenov, I.A. Design of telematics devices for monitoring transport / I.A. Semenov // Devices and systems. Management, monitoring, diagnostics. - 2022. – No. 4. – pp. 29-35.
8. Smirnova, O.I. Wireless data transmission technologies in monitoring systems: a monograph / O.I. Smirnova, V.K. Belov; Voronezh State Forestry Technical University (VGLTU). Voronezh: VGLTU, 2023. 168 p.
9. Tsvetkov, A.A. Standardization of data exchange protocols in emergency response systems / A.A. Tsvetkov // Bulletin of Communications. – 2022. – No. 6. – pp. 44-49.
10. Yakovlev, E.D. Application of Big Data technologies in intelligent megacities transport systems / E.D. Yakovlev // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – pp. 72-78.

ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ РАСЧЕТА СТОЙКОСТИ КМОП МИКРОСХЕМ К ПРОТОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

В.В. Котляров

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

В работе рассмотрены актуальные проблемы существующих способов расчёта стойкости КМОП-микросхем к протонному излучению в условиях космического пространства. Проведён анализ методологических ограничений моделей TID, DDD и NIEL-масштабирования, а также факторов мощности дозы и термического отжига. Показана необходимость интегрированного подхода, объединяющего расчёты, испытания и моделирование для повышения достоверности прогнозов радиационной стойкости.

Ключевые слова: КМОП, протонное излучение, TID, DDD, NIEL-масштабирование, SEE, радиационная стойкость, космическая электроника.

PROBLEMS OF EXISTING METHODS FOR CALCULATING THE RADIATION HARDNESS OF CMOS INTEGRATED CIRCUITS UNDER PROTON IRRADIATION

V.V. Kotlyarov

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

The paper examines current issues in existing methods for assessing the radiation hardness of CMOS integrated circuits under proton irradiation in the space environment. Methodological limitations of TID, DDD, and NIEL-scaling models, as well as dose-rate and thermal annealing effects, are analyzed. The need for an integrated approach combining modeling, experimental testing, and simulation to improve the reliability of radiation hardness prediction is demonstrated.

Key words: CMOS, proton irradiation, TID, DDD, NIEL-scaling, SEE, radiation hardness, space electronics.

Введение

Космическое пространство (КП) формирует для электронной компонентной базы смешанное радиационное поле, в котором ионизационные и смещающие эффекты от протонов сосуществуют с единичными эффектами в приборах (SEE) и существенно зависят от спектрально-углового состава, геометрии экранирования и технологического узла КМОП [1-3]. На практике расчёт стойкости часто сводят к независимой оценке накопленной ионизационной дозы в диэлектриках (TID) и смещающего ущерба в кремнии (DDD) по табличным удельным потерям энергии и модели NIEL-масштабирования с последующим сопоставлением с результатами испытаний облучением [1,4]. Такой подход демонстрирует удобство и переносимость между миссиями, хотя в последние 5–10 лет накоплено достаточно экспериментальных фактов, указывающих на систематические погрешности расчёта предельной дозы и ресурса КМОП, особенно для техпроцессов 180–65 нм [2,3,5-7]. Обнаруженные отклонения вызываются сочетанием недоучёта протон-индуцированной прямой ионизации в тонких активных объёмах, спектрального «ожесточения» за экранированием, а также историей мощности дозы и температурно-временной историей, определяющими кинетику ловушек на границе Si–SiO₂ и в объёме оксидов [1-3,6,7].

Статья концентрируется на методологических ограничениях принятых способов расчёта и на тех аспектах, которые нуждаются в уточнении при разработке программ обеспечения радиационной стойкости (ОРС) для бортовой электроники.

Ключевые методологические ограничения и источники погрешности

Базовая оценка TID в оксидах по протонному спектру $\varphi(E)$ обычно записывается в виде

$$D_{TID}(x) = \int \varphi(E) \cdot \frac{S_{e, SiO_2}(E)}{\rho_{SiO_2}} e^{-\mu(E) \cdot x} dE$$

где $S_{e, SiO_2}(E)$ - электронное (ионизационное) торможение в SiO₂, ρ_{SiO_2} - плотность SiO₂, $\mu(E)$ - линейный коэффициент ослабления, x эквивалентная толщина экрана [1].

Формула неявно предполагает, что радиационно-химические превращения и транспорт вторичных δ -электронов в сложном многослойном стекле оксидов эквивалентны однородной среде, тогда как современные структуры используют стек из термического SiO₂, SiON, STI и межметаллических диэлектриков с различной ловушечной микроструктурой и полем в диэлектрике, что

приводит к систематическому завышению или занижению эффективной дозы, определяющей дрейф пороговых напряжений и тока утечки [1,6]. Для техпроцессов 180-90нм вклад TID в смещение порога каналов I/O транзисторов часто доминирует ресурс, но при переходе к 65нм начинают существеннее проявляться комбинации TID+DDD, влияющие на тёмные токи пикселей CIS и деградацию аналоговых блоков смешанных сигналов [5-7].

Оценка смещающего ущерба традиционно ведётся через дозу от неионизирующих потерь (DDD):

$$D_{DDD} = \int \varphi(E) \cdot \frac{NIEL_{Si}(E)}{\rho_{Si}} dE$$

Где $NIEL_{Si}(E)$ — неионизирующие потери энергии в Si [4,7]. Модель NIEL-масштабирования успешно объясняет деградацию параметров, связанных с рекомбинационными центрами, однако подтверждённые расчётно-экспериментальные исследования последних лет показывают необходимость поправок к «эффективному NIEL», учитывающих вклад электронного торможения в формирование первичных дефектов и особенности каскадов при МэВ-протонах [4].

Наиболее заметный источник недооценки риска связан с SEE от протонов. Расчёт частоты отказов по спектру миссии часто подменяют пересчётом через нейтронные/гамма-эквиваленты или используют аппроксимацию $\sigma_s EU(E)$ по данным тяжёлоионных испытаний, что некорректно для протонной прямой ионизации в глубоко-субмикронных узлах. У 65-нм SRAM чувствительность к моноэнергетическим протонам остаётся высокой не только ниже 3 МэВ, но и в десятках МэВ, причём с немонотонной энергезависимостью с максимумами, обусловленными комбинацией прямой ионизации и вторичных ядерных взаимодействий [3]. Тогда интегральная оценка частоты SEU (1) при использовании «универсальной» $\sigma_s EU(E)$ приводит к ошибке в расчёте отказов на орбите [2,3].

$$R_{SEU} = \int \sigma_{SEU}(E) \cdot \varphi(E) dE \quad (1)$$

К погрешностям расчётов добавляются эффекты мощности дозы и эффекты термического отжига. Для BSI-CIS и аналоговых КМОП-узлов показано, что восстановление характеристик после протонного облучения зависит от спектра и истории температуры, а также от распределения поля в диэлектриках [5,6]. Российские работы по схемотехническому моделированию деградации показы-

вают, что корректная прогностическая симуляция требует модификации SPICE-поверхностно-потенциальных моделей через физически осмысленные добавочные источники смещения и проводимости, калибруемые на низкоинтенсивные ионизирующие воздействия, иначе перенос результатов «пучок → орбита» оказывается ненадёжным [7]. На уровне стандартизации в OPC-процессах обозначена необходимость специфической таксономии требований, интеграции испытаний и расчётов на ранних стадиях и учёта SEE от протонов как отдельной ветви анализа, что напрямую противоречит традиции «доза+NIEL» без связанного учёта единичных событий [1,2].

Для наглядности сводка распространённых подходов и их ограничений приведена в Табл. 1, а на Рис. 1 показана рекомендуемая структура связанного расчёта, объединяющая транспорт, TID/DDD-модели и SEE-верификацию.

Таблица 1– Сильные и слабые стороны используемых подходов к расчёту стойкости КМОП в протонном поле (миссии КП).

Подход	Что учитывает	Ограничения для протонов	Типичные последствия для оценки ресурса
TID по удельным потерям в SiO ₂	Дозу в оксидах, дрейф V _{TH}	Игнор многослойных диэлектриков и поля; упрощённый δ-электронный транспорт	Смещение ресурса I/O-транзисторов и аналоговых узлов [1,6]
DDD через NIEL-масштабирование	Смещающий ущерб в Si	Неучёт «эффективного NIEL» и роли электронного торможения	Недооценка дефектов для малых объёмов/композитных стеков [4]
SEE через пересчёт от тяжёлых ионов	Ядерные вторичные, частично - прямую ионизацию	Некорректная $\sigma_s EU(E)$ для протонов; немонотонность по E	Ошибка в частоте SEU/MBU на орбите, особенно при экранировании [2,3]
«Пучок → орбита» без геометрии	Интеграл по флюенсу	Игнор спектрального «ожесточения» за экраном	Систематический сдвиг расчётной дозы/отказов [1,2]

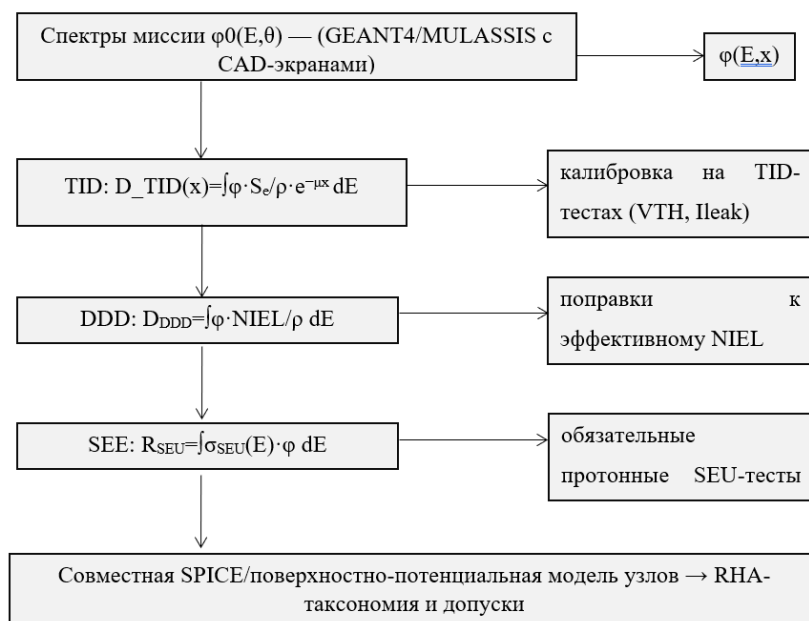


Рисунок 1 – Схема связанного расчёта стойкости КМОП в протонном поле КП

Предложенная структура непосредственно соотносится с обновлёнными требованиями ECSS-Q-ST-60-15C Rev.1 и NASA OPC-процессом, где закладывается проектно-ориентированная интеграция расчётов, испытаний и критериев рисков с учётом среды миссии, области применения и срока службы изделия [1,2]. Публикации последних лет по прямой протонной ионизации в 65-нм SRAM и по деградации BSI-CIS подтверждают, что без обязательных протонных SEE-испытаний и верифицированной геометрической модели транспорта перенос лабораторных данных на условия КП ненадёжен [3,5,6].

Заключение

Совокупность современных экспериментальных и нормативных данных показывает, что традиционная парадигма «TID + NIEL-масштабирование» недостаточна для достоверного прогноза стойкости КМОП к протонному излучению в условиях КП при техпроцессах 180-65нм. Корректная оценка предельной дозы и ресурса требует совместного учёта трёх механизмов с привязкой к геометрии и экрану, включения поправок к эффективному NIEL и обязательной валидации $\sigma_{SEU}(E)$ на протонных пучках в диапазоне от единиц до десятков МэВ. OPC-процессы ECSS и NASA прямо предписывают такую интеграцию и раннюю калибровку моделей, а российские и международные исследования по CIS и схмотехническому моделированию показывают практическую реализуемость связанного подхода с последующим анализом эффектов термического

отжига и влияния мощности дозы [1–7]. Применение этой методологии уменьшает разрыв между данными радиационно-испытательных стендов и поведением аппаратуры на орбите, и тем самым снижает неопределённость в расчёте ресурса бортовой электроники.

Список литературы

1. ECSS-Q-ST-60-15C Rev.1. Radiation hardness assurance. – Noordwijk: European Cooperation for Space Standardization, 2025. – URL: ecss.nl (дата обращения: 27.09.2025).
2. Gaza, R. и др. The NASA Radiation Hardness Assurance (OPC) Process Standard. – Washington, DC: NASA Technical Reports Server, 2024. – 32 p. – URL: ntrs.nasa.gov (дата обращения: 27.09.2025).
3. Coronetti, A. Proton Direct Ionization Upsets at Tens of MeV. – CERN Document Server, 2023. – 10 p. – URL: cds.cern.ch (дата обращения: 27.09.2025).
4. Chen, N.; Wang, Y.; Zhang, S. Atomistic simulation of displacement damage and effective NIEL // Physical Review Materials. – 2021. – Vol. 5, № 3. – Art. 033603. – URL: link.aps.org (дата обращения: 27.09.2025).
5. Impact of proton radiation and annealing of CMOS image sensors // AIP Advances. – 2024. – Vol. 14, № 9. – Art. 095221. – URL: pubs.aip.org (дата обращения: 27.09.2025).
6. Radiation Effects on Scientific CMOS Detectors for X-ray Astronomy : preprint. – arXiv:2403.15764, 2024. – 28 p. – URL: arxiv.org (дата обращения: 27.09.2025).
7. Шумарин, С. В.; Мартынов, А. В.; Бабурин, Н. В. Модификация SPICE-моделей КМОП-микросхем для имитации частотного отклика кольцевого генератора на низкоинтенсивное ионизирующее воздействие // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2024. – № 2. – С. 5–16. – URL: cyberleninka.ru (дата обращения: 27.09.2025).
8. Согоян, А. В.; Мартынов, Е. А.; Долгов, Е. Н. Нормы испытаний на стойкость к протонному и нейтронному излучениям: подходы и ограничения // Безопасность информационных технологий. – 2025. – Т. 32, № 1. – С. 45–63. – URL: bit.spels.ru (дата обращения: 27.09.2025).
9. High Total Ionizing Dose Effects on Backside-Illuminated CMOS Image Sensors : preprint. – 2025. – URL: researchgate.net (дата обращения: 27.09.2025).

10. Pellish, J. A. и др. Criticality of Low-Energy Protons in Single-Event Effects Testing. – Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 2014. – 25 p.– URL: ntrs.nasa.gov (дата обращения: 27.09.2025).
11. Schwank, J. R. и др. Hardness Assurance Testing for Proton Direct Ionization Effects. – Sandia Report SAND2011-(номер не указан). – Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 2011. – 18 p.– URL: osti.gov (дата обращения: 27.09.2025).
12. Dijks, J. и др. Systematic review of engineering and testing approaches in radiation hardness assurance // *Acta Astronautica*. – 2025. – In press. – URL: sciencedirect.com (дата обращения: 27.09.2025).
13. The Influence of Electronic Stopping on Displacement Damage and the Correction of Effective NIEL Model : preprint. – 2024/2025.– URL: researchgate.net (дата обращения: 27.09.2025).
14. Котляров В. В., Анциферова В. И. Воздействия статических потоков протонов на физические процессы в биполярных транзисторах, различного конструктивного исполнения // *Моделирование систем и процессов*. 2025. №. 2. С. 78-86. DOI: <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2025-18-2-78-86> (дата обращения: 15.10.2025).

References

1. ECSS-Q-ST-60-15C Rev.1. Radiation hardness assurance. Noordwijk: European Cooperation for Space Standardization, 2025. Available at: ecss.nl (accessed 27.09.2025).
2. aza, R., et al. The NASA Radiation Hardness Assurance (RHA) Process Standard. Washington, DC: NASA Technical Reports Server, 2024. 32 p. Available at: ntrs.nasa.gov (accessed 27.09.2025).
3. oronetti, A. Proton Direct Ionization Upsets at Tens of MeV. CERN Document Server, 2023. 10 p. Available at: cds.cern.ch (accessed 27 Sep 2025).
4. Chen, N.; Wang, Y.; Zhang, S. Atomistic simulation of displacement damage and effective NIEL. *Physical Review Materials*, 2021, 5(3): 033603.
5. Impact of proton radiation and annealing of CMOS image sensors. *AIP Advances*, 2024, 14(9): 095221.
6. Radiation Effects on Scientific CMOS Detectors for X-ray Astronomy. Preprint, [arXiv:2403.15764](https://arxiv.org/abs/2403.15764), 2024. 28 p. Available at: arxiv.org (accessed 27.09.2025).

7. humarin, S. V.; Martynov, A. V.; Baburin, N. V. Modification of SPICE models of CMOS ICs to simulate the frequency response of a ring oscillator under low-intensity ionizing radiation. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta* [Electronics and Electrical Equipment of Transport], 2024, no. 2, pp. 5–16. Available at: cyberleninka.ru (accessed 27.09.2025).
8. Sogoyan, A. V.; Martynov, E. A.; Dolgov, E. N. Standards for testing radiation resistance to proton and neutron irradiation: approaches and limitations. *Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologii* [Information Technology Security], 2025, **32**(1), pp. 45–63. Available at: bit.spels.ru (accessed 27.09.2025).
9. High Total Ionizing Dose Effects on Backside-Illuminated CMOS Image Sensors. Preprint, 2025. Available at: researchgate.net (accessed 27 Sep 2025).
10. Pellish, J. A., et al. Criticality of Low-Energy Protons in Single-Event Effects Testing. Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 2014. 25 p. Available at: ntrs.nasa.gov (accessed 27.09.2025).
11. Schwank, J. R., et al. Hardness Assurance Testing for Proton Direct Ionization Effects. Sandia Report SAND2011-[number], Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 2011. 18 p. Available at: osti.gov (accessed 27 Sep 2025).
12. Dijks, J., et al. Systematic review of engineering and testing approaches in radiation hardness assurance. *Acta Astronautica*, 2025, in press. Available at: sciencedirect.com (accessed 27.09.2025).
13. The Influence of Electronic Stopping on Displacement Damage and the Correction of Effective NIEL Model. Preprint, 2024/2025. Available at: researchgate.net (accessed 27 Sep 2025).
14. Kotlyarov V. V., Antsiferova V. I. Effects of static proton fluxes on physical processes in bipolar transistors of various design designs. // Modeling of systems and processes. 2025. No. 2. pp. 78-86. DOI: <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2025-18-2-78-86> (accessed 15/10/2025).

МИКРО СЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.И. Литвинов, О.В. Оксюта

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

В работе рассматривается микросервисная архитектура как альтернатива монолитной для повышения надежности информационных систем. На примере системы, состоящей из чат-бота и RAG-сервиса, проведено сравнение двух подходов. Практическая реализация на Docker Compose демонстрирует принцип изящной деградации при отказе одного из сервисов. Рассмотрены преимущества оркестратора Kubernetes для автоматизации восстановления и масштабирования системы.

Ключевые слова: микросервисная архитектура, монолитная архитектура, отказоустойчивость, Docker, Kubernetes, RAG, чат-бот.

MICRO-SERVICE ARCHITECTURE AS A TOOL FOR INCREASING INFORMATION SYSTEM FAULT TOLERANCE

A.I. Litvinov, O.V. Oksiuta

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

The paper considers microservice architecture as an alternative to monolithic architecture for improving the reliability of information systems. Using the example of a system consisting of a chatbot and a RAG service, a comparison of the two approaches is carried out. A practical implementation using Docker Compose demonstrates the principle of graceful degradation when one of the services fails. The advantages of the Kubernetes orchestrator for automating recovery and system scaling.

Key words: microservice architecture, monolithic architecture, fault tolerance, Docker, Kubernetes, RAG, chatbot.

В текущих условиях повсеместной цифровизации и для бизнеса, и для государства важно обеспечить бесперебойную работу своих цифровых услуг. Однако стабильности мешает постоянное развитие и усложнение электронных сервисов, до сих пор широко используемая монолитная структура, где все компоненты тесно связаны демонстрирует низкий уровень отказоустойчивости. В такой модели отказ любого, даже второстепенного модуля, ведет к каскадному падению всех остальных, даже стабильных компонентов.

В качестве альтернативы выступает микросервисная архитектура. Данный подход предполагает разбиение монолитной системы на более мелкие, специализированные и относительно изолированные фрагменты. Каждый сервис инкапсулирует определенную бизнес-функцию и взаимодействует с другими через четко определенные API, благодаря чему отказ работы одной из функций не ломает систему целиком, а позволяет быстро выявить проблему и исправить практически незаметно для конечного пользователя.

Целью данной работы является анализ и практическая демонстрация эффективности микросервисной архитектуры как инструмента повышения отказоустойчивости информационных систем на примере системы, состоящей из чат-бота и RAG-сервиса (Retrieval-Augmented Generation).

Для наглядной демонстрации преимуществ микросервисной архитектуры с точки зрения надежности, целесообразно начать с рассмотрения традиционного подхода — монолитной архитектуры.

Монолитное приложение представляет собой единую, тесно связанную кодовую базу, в которой компоненты пользовательского интерфейса, бизнес-логика и вспомогательные модули скомпилированы и развернуты как единое целое (Рис. 1).

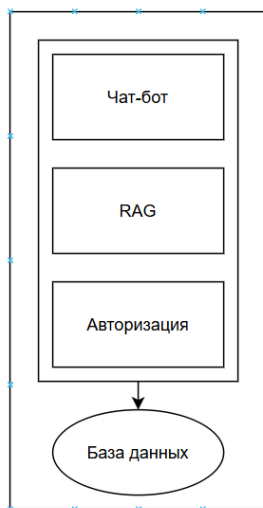


Рисунок 1 – Монолитная архитектура

Проблема архитектуры такого типа в единой точке отказа. Любая ошибка в любом, даже малозначительном модуле, способна вызвать "эффект домино" и привести к полному прекращению работы всего приложения. В такой ситуации пользователь сталкивается с ошибкой сервера или полным отсутствием ответа. Таким образом, монолитная архитектура демонстрирует низкую устойчивость к сбоям, поскольку не предусматривает механизмов изоляции отказа.

Альтернативный подход, называемый микросервисной архитектурой (Рис. 2) предлагает декомпозицию сложной системы на набор небольших, слабосвязанных и узкоспециализированных сервисов. Ключевой принцип, обеспечивающий повышенную надежность в сравнении с монолитной архитектурой — изоляция. Каждый сервис работает в собственной среде и взаимодействует с другими через четко определенные правила API.

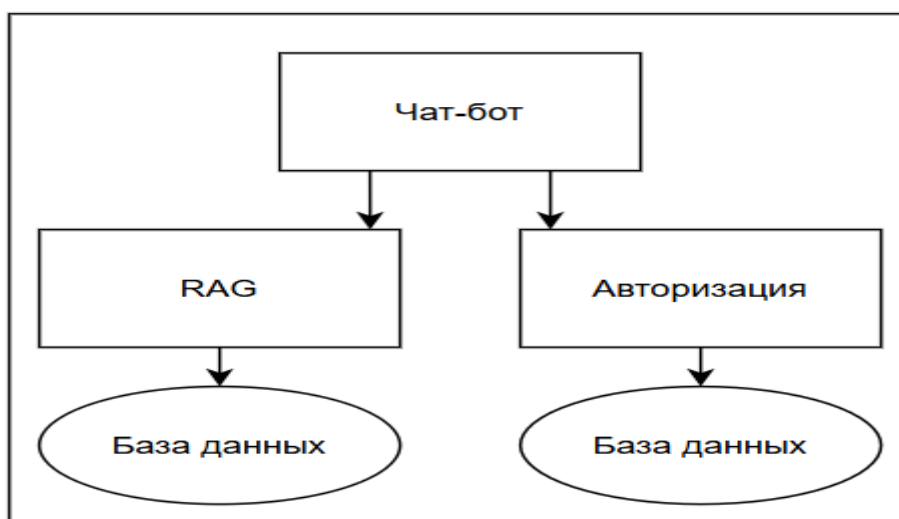


Рисунок 2 – Микросервисная архитектура

Преимущество становится очевидным в момент сбоя. Если один из сервисов (например, RAG) перестает отвечать, другие сервисы не прекращают работу. Вместо этого они фиксируют ошибку соединения и, благодаря встроенной логике обработки сбоев, реализуют принцип "изящной деградации": система теряет отдельную функцию, но сохраняет общую работоспособность.

Для проверки концепции была использована действующая система, состоящая из двух независимых компонентов:

1. Чат-бота, отвечающего за общение с пользователем.
2. RAG-сервиса, обеспечивающего семантический поиск и генерацию ответов на основе базы знаний.

Оба компонента были упакованы в изолированные Docker-контейнеры, что гарантирует возможность развертываемость в любых окружениях и отсутствие конфликтов между ними. Для организации взаимодействия и удобства развертывания сервисов используется Docker Compose. Файл `docker-compose.yml` описывает конфигурацию обоих сервисов и общую сеть для их взаимодействия:

```
services:
  chat:
    build:
      context: ./chat
      dockerfile: Dockerfile
      target: development
    ports:
      - "${RAG_SERVICE_URL}:8000"
    environment:
      - NODE_ENV=development
  rag-service:
    build:
      context: ./rag
      dockerfile: Dockerfile
      target: development
    ports:
      - "${RAG_SERVICE_URL}:8001"
    networks:
      - app-network
```

```
networks:
  app-network:
    driver: bridge
```

Взаимодействие между сервисами построено через HTTP API. Когда пользователь задает сложный вопрос, требующий поиска в базе знаний, чат-бот асинхронно вызывает RAG-сервис следующим образом:

```
async def generate_response(self, user_message: str) -> str:
```



```

if self._needs_rag(user_message):
    try:
        async with aiohttp.ClientSession() as session:
            async with session.post(
                f"{self.rag_url}/generate",
                json={"query": user_message, "model": "gpt-4"},
                timeout=client_timeout
            ) as response:
                if response.status == 200:
                    data = await response.json()
                    return data["answer"]
                else:
                    raise ServiceError("RAG service error")
    except (aiohttp.ClientError, asyncio.TimeoutError):
        logger.error("RAG service unavailable")
        return "Сервис поиска временно недоступен"

return await self._generate_basic_response(user_message)

```

Для демонстрации отказоустойчивости был протестирован сценарий выхода из строя RAG-сервиса. При остановке контейнера rag-service чат-бот продолжал работать в штатном режиме, игнорируя потерю сервиса и уведомляя пользователей о временной недоступности поиска по базе знаний. Этот эксперимент наглядно демонстрирует ключевое преимущество микросервисной архитектуры: даже при частичном отказе система сохраняет базовую функциональность и остаётся полезной для пользователя.

Хотя Docker и, в частности, его инструмент Docker Compose отлично подходят для локальной разработки и небольших систем, они имеют существенные ограничения при масштабировании. Так, управление контейнерами вручную быстро становится неудобным, а встроенных механизмов самовосстановления, например, автоматической перезагрузки упавшего сервиса или балансировки нагрузки между копиями в стандартном Docker, из "коробки" такого нет.

Здесь на помощь приходит Kubernetes (K8s) — промышленный стандарт для оркестрации контейнеров. Это платформа предназначена для автоматизации развёртывания, масштабирования и управления жизненным циклом контейнеризованных приложений.

Kubernetes, в отличие от Docker, не просто запускает контейнеры, а следит за их состоянием и реагирует на изменение их состояния. Три основных механизма которые следят и корректируют состояние системы:

1. Liveness Probes — позволяет Kubernetes регулярно отправлять запросы к контейнерам, чтобы убедиться, что он в работе. Если проверка не проходит, K8s автоматически перезапускает его, не дожидаясь вмешательства человека.

2. Readiness Probes — Даже если контейнер запущен, он может ещё быть не готов к полноценной работе (например, загружает модель или подключается к базе). Readiness-проверки позволяют временно исключить такой экземпляр из балансировки, пока он не станет полностью функциональным.

3. ReplicaSets и Deployments — гарантия доступности. Он позволяет автоматически подменять важный сервис с помощью реплик (например, RAG-поиска), которых минимум три. Если одна из них падает — Kubernetes мгновенно запускает новую на любом доступном узле кластера.

Благодаря этим возможностям Kubernetes выводит отказоустойчивость на новый уровень: от простой изоляции сбоев (как в микросервисах на Docker) к автоматическому реагированию на внештатные ситуации. Система становится не просто устойчивой, а самовосстанавливающийся — она сама обнаруживает проблемы и принимает меры, чтобы минимизировать влияние ошибки на пользователя.

В перспективе переход от Docker Compose к Kubernetes позволяет не только повысить надёжность, но и гибко масштабировать отдельные компоненты под нагрузку и упростить обновления.

Таким образом, микросервисная архитектура существенно повышает отказоустойчивость информационных систем. На примере системы из чат-бота и RAG-сервиса продемонстрировано, что изоляция компонентов позволяет сохранить базовую функциональность даже при полном отказе одного из сервисов.

Практическая реализация на Docker показала эффективность разделения ответственности между компонентами. Для масштабируемости или более сложных приложений естественным развитием становится использование Kubernetes, который автоматизирует восстановление после сбоев и обеспечивает масштабируемость системы.

Список литературы

1. Алексеев, М.К. Опыт внедрения Kubernetes для оркестрации микросервисов / М.К. Алексеев— 2023. — С. 112-120.
2. Аншина, М. Л. Архитектура приложений и данных: учебное пособие / М. Л. Аншина. — Москва: РТУ МИРЭА, 2024. — 152 с. — ISBN 978-5-7339-2218-8. // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/421100> (дата обращения: 16.10.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. 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. // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/348110> (дата обращения: 16.10.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. 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. // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/123710> (дата обращения: 16.10.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Docker Documentation: официальная документация по использованию Docker // Официальный сайт Docker Inc. — URL: <https://docs.docker.com/> (дата обращения: 14.10.2025).
6. Kubernetes Documentation: руководство по развертыванию и управлению кластерами // Сайт Cloud Native Computing Foundation. — URL: <https://kubernetes.io/docs/> (дата обращения: 15.10.2025).

References

1. Alekseev, M.K. Experience in implementing Kubernetes for microservices orchestration / M.K. Alekseev— 2023. — pp. 112-120.
2. 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). — Access mode: for authorization. users.
3. 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. // Lan: electronic library system. — URL:

<https://e.lanbook.com/book/348110> (date of request: 16.10.2025). — Access mode: for authorization. users.

4. 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. / Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/123710> (date of request: 16.10.2025). — Access mode: for authorization. users.

5. Docker Documentation: official documentation on using Docker // Official website of Docker Inc. — URL: <https://docs.docker.com> / (date of request: 14.10.2025).

6. Kubernetes Documentation: A guide to cluster Deployment and management // Cloud Native Computing Foundation website. — URL: <https://kubernetes.io/docs> / (date of request: 10/15/2025).

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ «СКАНИРУЙ-И-УТИЛИЗИРУЙ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА СЛОЖНЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

А.К. Назарова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет

Аннотация. В статье рассматриваются особенности разрабатываемой мобильной платформы «Сканируй-и-утилизируй», которая повышает эффективность раздельного сбора сложных бытовых отходов.

Ключевые слова: переработка, платформа, эффективность, штрих-код, приложение.

DEVELOPMENT OF A MOBILE SCAN-AND-RECYCLE PLATFORM TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF SEPARATE COLLECTION OF COMPLEX MUNICIPAL WASTE

A.K. Nazarova

Voronezh State Technical University

Abstract. This article examines the features of the "Scan-and-Recycle" mobile platform, which is being developed to improve the efficiency of separate collection of complex household waste.

Keywords: recycling, platform, efficiency, barcode, app.

Увеличение потребления характеризуется не только ростом благосостояния, но и увеличением объема сложных бытовых отходов, к которым относятся такие опасные отходы: батарейки, энергосберегающие лампы, электронная техника и многослойная упаковка. Таким образом современный мир столкнулся с всемирной экологической проблемой, связанной с ростом бытового мусора. Более 90% населения, согласно данным проекта, сталкиваются с непониманием того, как правильно поступать с такими отходами после их использования. От-

сутствие четких, доступных и персонализированных инструкций приводит к тому, что опасные вещества попадают на полигоны, нанося непоправимый ущерб окружающей среде, а ценные вторичные ресурсы безвозвратно теряются. Существующие решения, такие как статичные онлайн-карты пунктов приема, являются недостаточно эффективными. Данные ресурсы имеют только общую информацию о размещении тех или иных пунктов приема мусора, что в свою очередь не отвечает на актуальные вопросы потребителя: какие бывают отходы, как отличать тот или иной мусор в конкретную категорию и что человеку будет за то, что он утилизирует отходы правильным методом.

Главная задача мобильной платформы «Сканируй-и-утилизируй», является борьба с информационным и мотивационным вакуумом граждан. Именно для борьбы с этим вакуумом будет разработан данный проект. Перевод задачи по утилизации мусора из категории сложной задачи, в разряд простого и поощряемого повседневного действия. Смартфон становится не только устройством для связи и развлечений, но и универсальным помощником в защите окружающей среды. Это не только решает проблему неразберихи для конечного потребителя, но и создает основу для цепочки обращения с отходами для муниципалитетов и переработчиков.

Успех любого продукта определяется наличием так называемых «киллер-фич» - уникальных функций, которые делают его выделяющимся. В случае приложения «Сканируй-и-утилизируй» выделяются несколько ключевых особенностей, которые выгодно его отличают, от конкурентов.

Первой и основной киллер-фичей является функция сканирования штрих-кода камерой смартфона, как интуитивно понятный способ взаимодействия. Этот метод сильно упрощает и ускоряет использование приложения. Так как пользователю не нужно вводить название товары ли выбрать его из выпадающего списка. Это является критически важным, для снижения порога входа пользователей. На основе данных, полученных при сканировании, приложение будет генерировать информацию, включающую в себя: общую информацию об утилизации, адрес ближайших пунктов утилизации, выводя их на онлайн-карту, а также если это необходимо, то подробные рекомендации по разборке изделия на составные части для облегчения утилизации. Инструкцию, которую будет генерировать приложение, должна включать в себя подробную информацию о правилах подготовки отходов и их дальнейшей сдачи: нужно ли извлекать АКБ, информация о многослойных упаковках, и опасных отходов, с которыми нужно быть предельно осторожными.

Вторая ключевая особенность, является игровая форма. Осознавая, что одной лишь информацией будет невозможно заинтересовать потребителей, в приложение будет интегрирован механизм начисления баллов за подтверждённую сдачу отходов (с помощью QR-кодов в пунктах приема). Полученные таким путем баллы можно будет обменивать на скидки от партнеров проекта, сувенирную продукцию или направить в фонды поддержки экологических инициатив. Этот подход позволяет превратить пользовательский опыт в подобие квеста, повышая охваты и формируя устойчивую привычку.

Третьей важной функцией является двусторонняя модель платформы. Первая модель распространения приложения – бесплатная, для обычных пользователей. Вторая модель, для бизнеса и государства – платная, она предлагает платный доступ к аналитической панели. Эта панель агрегирует анонимные данные пользователей об утилизируемых потоках, популярности пунктов приема и поведении пользователей. Благодаря платной версии приложения муниципалитеты и переработчики отходов получают мощный инструмент для анализа и оптимизации логистики, что позволит им оптимизировать системы раздельного сбора отходов. B2B-составляющая проекта значительно повышает социально-экономический эффект от проекта.

Инструменты для создания проекта.

Данный проект требует использование современных и надежных решений, на основе клиент-серверной модели.

Клиентская часть будет базироваться на операционных систем iOS и Android. Для его реализации будет создано нативное мобильное приложение, гарантирующее беспроводной доступ к современным сетевым технологиям смартфонов, удобный интерфейс и высокую производительность. Доступ к камере телефона будет позволять сканировать штрих-коды потребительских товаров, точность распознавания будет больше 98%, за счет использования специализированных библиотек компьютерного зрения. модуль GPS в свою очередь, для определения геолокации пользователя для построения корректного маршрута до нужного центра приема нужных отходов.

Для хранения всей нужной информации требуется построение облачной инфраструктуры, соответствующей современным требованиям к скорости, безопасности и масштабируемости. Таким требованиям соответствует фреймворк Node.js и реализация базы данных с помощью PostgreSQL для надежного хранения структурированной информации. База данных будет строиться на основе трех основных типов данных требуемых для корректной работы проекта:

база товаров с привязкой типов отходов, база пунктов приема отходов и справочная информация по утилизации каждого типа товаров.

Для навигации пользователя приложения требуются современные API картографических служб, таких как Яндекс.Карты или 2GIS, которые будут обеспечивать сопровождение от точки А до пункта сбора отходов.

Требуется уделить особое внимание разработке алгоритма категоризации товаров. Ведь предоставление точной информации по правилам утилизации отходов пользователю, фундаментальная задача проекта. Для ее реализации будет спроектирован алгоритм, базирующийся на заданных экспертных правилах, предоставляющая персональный сценарий утилизации. Со временем использования приложения и ростов количества пользователей, в систему может быть добавлен элемент машинного обучения для повышения точности классификации и прогнозирования.

Анализ аналогов на рынке.

Проведя анализ рынка в России и за рубежом, можно прийти к выводу, что в мире нет аналогичных приложений или проектов, которые совмещают в себе справочную информацию по утилизации, пункты сбора с навигацией и поощрительную балловую систему. Наиболее схожим приложением в российском бизнес-пространстве является проект «РазДельный Сбор», предлагающий карту пунктов приема вторсырья. Но он не имеет базы классификации бытовых отходов, а также наличие ручного ввода запросов и отсутствие мотивационных программ. В США имеется более разнообразный подход. Один из самых подходящих к нашему проекту это «iRecycle», предоставляющий пользователям информацию о пунктах приема разных типов отходов, но в минусы можно записать отсутствие сканирования штрих-кодов, что усложняет процесс поиска по категориям отходов для пользователя. В Европейской бизнес зоне существует сервис, под названием «Too Good to Go», функционал которого направлен на геймификацию процесса утилизации пищевой продукции, но не предоставляет функционал для утилизации сложных отходов.

Актуальность данного проекта соответствует государственной политике в области обращения с отходами и приоритетами развития национальных цифровых сервисов. Проект мобильное приложение «Сканируй-и-утилизируй» является не просто еще одним мобильным приложением, а цифровой экосистемой, которая свяжет конечного потребителя, перерабатывающие компании и муниципалитеты, для совместной борьбы с нависшей угрозой экологической катастрофы. Ключевым преимуществом проекта является его ориентированность на

пользователя, так как экологическая экосистема, так и данное мобильное приложение будут зависеть от активности пользователей. Поэтому перед разработчиками будет стоять основная задача, совершенствовать приложение в плане удобства, скорости работы и точности предоставляемой пользователям информации. Успешная реализация проекта позволит разрешить многие экологические проблемы, связанные с переработкой сложных отходов. Так же успешность проекта может экономически подстегнуть бизнес по утилизации мусора и создать новые рабочие места. На основе вышеперечисленного, можно с уверенностью считать, что проект «Сканируй-и-утилизируй», обладает всеми признаками современного и востребованного проекта, решая реальную проблему и имея четкий план коммерциализации.

Список литературы

1. Калгина, И. С. Разработка мобильных приложений : учебное пособие / И. С. Калгина. — Чита : ЗабГУ, 2022. — 163 с. — ISBN 978-5-9293-3137-4. // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/363323> (дата обращения: 03.10.2025).
2. Теучеж, А. А. Производственные и бытовые отходы : учебное пособие / А. А. Теучеж ; под редакцией И. С. Белюченко. — Краснодар : КубГАУ, 2019. — 91 с. — ISBN 978-5-907247-75-8. // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171557> (дата обращения: 03.10.2025).
3. Экологическое движение «РазДельный Сбор». — URL: <https://rsbor.ru> (дата обращения: 03.10.2025).
4. Что в какой контейнер. — URL: <https://irecycle.ecoidea.by> (дата обращения: 03.10.2025).

References

1. Kalgina, I. S. Mobile Application Development: a tutorial / I. S. Kalgina. - Chita: ZabGU, 2022. - 163 p. - ISBN 978-5-9293-3137-4. // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/363323> (accessed: 03.10.2025).
2. Teuchezh, A. A. Industrial and Household Waste: a tutorial / A. A. Teuchezh; edited by I. S. Belyuchenko. - Krasnodar: KubSAU, 2019. - 91 p. - ISBN 978-5-907247-75-8. // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171557> (accessed: October 3, 2025).
3. Environmental movement "Separate Collection." — URL: <https://rsbor.ru> (accessed: October 3, 2025).
4. What goes in which container. — URL: <https://irecycle.ecoidea.by> (accessed: October 3, 2025).

ИОТ СЕТИ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

В.Н. Палаткин

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

аннотация: статья посвящена современным подходы к использованию *iot*-сетей в системах точного земледелия. описаны ключевые типы сенсоров, применяемых для мониторинга агроэкосистем — датчики *pH*, электропроводности (*ec*), влажности почвы и температуры. приведён технический анализ принципов их работы, преимущества и ограничения при практическом применении. особое внимание уделено вопросам энергоэффективности и использованию беспроводных технологий передачи данных, в частности *lorawan*, для организации долговременного мониторинга на обширных сельскохозяйственных территориях. подчёркиваются актуальные проблемы внедрения, такие как точность недорогих сенсоров, сложности с радиочастотным регулированием и необходимостью интеграции с цифровыми платформами. в заключение обозначен высокий потенциал *iot* для повышения продуктивности и устойчивости аграрного сектора

ключевые слова: точное земледелие, *iot*, датчик *pH*, датчик электропроводности, влажность почвы, температура, *lorawan*, беспроводные сети, агросенсоры, энергоэффективность, цифровое сельское хозяйство.

IOT NETWORKS FOR PRECISION FARMING

V.N. Palatkin

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

Abstract: the article is devoted to modern approaches to the use of *IoT* networks in precision farming systems. The key types of sensors used for monitoring agroecosystems are described - *pH*, electrical conductivity (*EC*), soil moisture and temperature sensors. A technical analysis of their

operating principles, advantages and limitations in practical application is provided. Particular attention is paid to energy efficiency and the use of wireless data transmission technologies, in particular LoRaWAN, for organizing long-term monitoring in vast agricultural areas.

Keywords: precision farming, IoT, pH sensor, conductivity sensor, soil moisture, temperature, LoRaWAN, wireless networks, agrosensors, energy efficiency, digital agriculture.

Экспансия информационных технологий охватывает все отрасли экономики, и сельское хозяйство закономерно трансформируется под этим влиянием. Цифровизация становится неотъемлемым фактором развития агросферы. Принципиальное значение приобрело осознание того, что внедрение сетей Интернета вещей (IoT) позволяет кардинально повысить эффективность использования ресурсов и обеспечить устойчивость сельскохозяйственного производства. Данные технологии обеспечивают непрерывный мониторинг важнейших параметров почвы и окружающей среды – влажности, уровня pH, электропроводности, температуры воздуха – посредством удаленных сенсоров. Полученная в режиме реального времени информация дает возможность прецизионной оптимизации процессов полива, внесения удобрений и защиты растений, например, за счет дифференцированного орошения отдельных участков поля. Как подтверждают исследования, результатом внедрения IoT-решений в агросекторе является рост урожайности при одновременном снижении расхода критических ресурсов, таких как вода и удобрения, по сравнению с традиционными методами ведения сельского хозяйства.

Если рассматривать архитектуру IoT-систем как пирамиду, разделенную на три уровня, то ее фундаментом и самой объемной частью неизменно выступают датчики. Они являются основой, первичным источником данных в любой IoT-сети. Именно специализированные датчики непрерывно собирают критически важную информацию о состоянии почвы и атмосферы. Рынок предлагает широкий спектр сенсорных устройств – от компактных моделей, измеряющих 2-3 параметра, до комплексных станций от крупных международных производителей, объединяющих десятки датчиков для узкоспециализированных задач в конкретных отраслях растениеводства. Однако, для целей комплексной и повседневной оптимизации агротехнологий в подавляющем большинстве хозяйств наибольшую практическую ценность и оптимальное соотношение "затраты-эффективность" демонстрирует стандартный набор сенсоров: датчики влажности почвы, температуры почвы и воздуха, электрической проводимости (ЕС) и pH почвы. Интеграция и анализ показаний именно этой ключевой чет-

верки формируют достаточную для принятия решений целостную картину состояния агроэкосистемы, служа научно обоснованной базой для управления ирригацией, внесением удобрений и защитой растений.

Измерение кислотности (pH) почвы имеет существенное значение для доступности питательных веществ растениям: в условиях значительного отклонения pH от нейтрального многие макро- и микроэлементы становятся менее усваиваемыми, так как pH влияет на растворимость и доступность ионов, что впоследствии нарушает процессы обмена веществ на клеточном уровне и развитие растений. Традиционные датчики pH основаны на измерении потенциала между измерительным электродом (которые могут быть выполнены как из специального ионочувствительного стекла, так и на основе определенных металлов или оксидов металлов) и референтным электродом. Такие датчики могут обеспечивать высокую точность, но требуют регулярной калибровки. Существуют также конструкции, объединяющие оба электрода в одном корпусе. Стоимость таких решений варьируется в широких пределах. Очень бюджетные датчики часто используют в качестве материалов для измерительного и референтного электродов нержавеющую сталь или сталь с покрытиями (например, серебро/хлорид серебра). Подобные материалы сильно ограничивают чувствительность и стабильность измерений: напряжение между электродами при изменении pH на ± 0.1 –0.5 единиц может изменяться незначительно или нестабильно дрейфовать, особенно в критической нейтральной зоне (pH ~ 7.0), что делает их показания ненадежными для точного земледелия. Альтернативой служат датчики на основе полевых МОП-транзисторов (ISFET), где pH-чувствительный слой (например, оксид кремния, алюминия) нанесен на электрод, непосредственно соединенный с затвором транзистора. Изменение потенциала этого слоя при контакте с раствором модулирует ток стока. Хотя ISFET потенциально компактнее и не имеют хрупкого стеклянного элемента, их практическое применение для прямых измерений pH в почве сопряжено с трудностями: необходим надежный, химически стойкий интерфейс (по сути, миниатюрный электрод) между чувствительным слоем затвора и самой почвой для обеспечения контакта с почвенным раствором. Кроме того, надежные и точные ISFET-решения для таких условий пока не являются массово доступными "из коробки" и требуют либо специализированных (часто дорогих) готовых изделий от узкого круга производителей, либо собственных разработок и производства с использованием известных высококачественных материалов для чувствительного слоя и защитных структур. Поэтому обеспечение необходимой точ-

ности и долговременной стабильности измерений pH в полевых условиях обычно достигается либо использованием профессиональных (и, как следствие, более дорогих) электродных систем с регулярной калибровкой и температурной компенсацией, либо значительными инвестициями в разработку и валидацию специализированных ISFET-сенсоров.

Электропроводность (ЕС) почвы, отражающая концентрацию растворенных солей (натрий, хлор, кальций и др.), является главным индикатором её плодородия и риска засоления. Принцип измерения ЕС основан на оценке электрического сопротивления почвы между двумя или более введенными в неё электродами. На практике распространен метод четырехэлектродного измерения или его упрощенные двухэлектродные варианты. Суть заключается в подаче через один электрод постоянного импульсного тока с импедансом определенной скважности, часто формируемого с помощью ШИМ (широтно-импульсной модуляции) микроконтроллера, либо через преобразователь DC-AC для подачи тока на электрод переменного напряжения, через токоизмерительный резистор. Использование ШИМ микроконтроллера в качестве основы для генерации тока продиктовано соображениями энергоэффективности, важными для автономных IoT-устройств с батарейным питанием. Измеряется возникающее падение напряжения между первым и вторым электродом (часто связанным с "землей" схемы). По закону Ома ($V = I * R$), сопротивление почвы (R_{soil}) пропорционально измеренному напряжению (V_{sense}) при известном токе (I). После калибровки с учетом геометрии электродов (константа K) это сопротивление конвертируется в значение электропроводности ($EC = 1 / (R_{soil} * K)$).

Главная инженерная сложность при таком подходе обусловлена экстремально широким диапазоном сопротивления почвы: от единиц Ом (очень влажная, засоленная почва) до десятков МОм (сухая, малозасоленная). Простая схема с фиксированным током через токоизмерительный резистор имеет крайне ограниченный эффективный диапазон измерения. Как показывает практика и анализ схем, при сопротивлении почвы в диапазоне примерно 8-152 Ом падение напряжения V_{sense} изменяется достаточно для уверенной регистрации АЦП типового микроконтроллера (10-12 бит). Вне этого "рабочего окна" изменения V_{sense} становятся пренебрежимо малыми (порядка 0.01 мВ и менее) или, наоборот, превышают диапазон АЦП, теряясь в шумах схемы (собственных шумах операционных усилителей, АЦП, внешних наводках).

Для преодоления ограничений динамического диапазона при измерении сопротивления почвы применяют адаптивные стратегии, заимствованные из практики разработки цифровых мультиметров. Один из подходов заключается в использовании многошкальных измерительных схем. В этом случае реализуются несколько параллельных измерительных цепей, отличающихся номиналами токоизмерительных резисторов и/или уровнями генерируемого возбуждающего тока. Система на основе микроконтроллера автоматически выбирает и переключается на цепь, обеспечивающую оптимальный диапазон измерения, руководствуясь предварительной оценкой уровня сигнала или результатами предыдущих измерений. Другой метод – применение программируемых источников тока или напряжения. Здесь микроконтроллер динамически регулирует величину возбуждающего тока (обычно формируемого тем же энергоэффективным ШИМ) или напряжение, прикладываемое к электродам, чтобы поддерживать падение напряжения V_{sense} в зоне, оптимальной для точного захвата аналого-цифровым преобразователем (АЦП), независимо от текущего высокого или низкого сопротивления почвы. Третий распространенный способ – включение в схему прецизионных усилителей с переменным коэффициентом усиления (PGA). Такой усилитель, установленный непосредственно перед входом АЦП, автоматически изменяет свой коэффициент усиления для сигнала V_{sense} , тем самым масштабируя его амплитуду до уровня, полностью использующего рабочий диапазон АЦП и обеспечивающего максимальную разрешающую способность измерения.

Важным практическим вызовом при внедрении датчиков ЕС является их происхождение и уровень сопроводительной документации. Подавляющее большинство доступных на рынке, особенно в бюджетном сегменте, составляют устройства, произведенные в Китае, зачастую поставляемые с минимальной документацией. Это создает значительные проблемы на нескольких уровнях. Во-первых, принцип работы и внутренняя схемотехника таких датчиков остаются по сути "чёрным ящиком": отсутствие детальных схем, описаний алгоритмов обработки сигнала или спецификаций ключевых компонентов делает невозможной достоверную оценку их реальной точности, долговременной стабильности и применимости в конкретных почвенных условиях. Во-вторых, серьезно затруднена или даже невозможна корректная калибровка из-за недостатка информации о базовой чувствительности сенсорного элемента, используемых материалах электродов, температурных коэффициентах и встроенных алгоритмах компенсации. Попытки калибровки под конкретную почву или ла-

лабораторный эталон без этих данных часто оказываются некорректными, что ведет к систематическим отклонениям показаний, которые невозможно исправить. В-третьих, возникают барьеры для программного взаимодействия, закрытые или плохо документированные протоколы обмена данными (в случае цифровых датчиков) препятствуют их гибкой интеграции в IoT-платформы или вынуждают прибегать к ненадежному и трудоемкому реверс-инжинирингу. Таким образом, использование подобных нехарактеризованных сенсоров ставит под серьезное сомнение достоверность собираемых данных об электропроводности почвы, сводя на нет потенциальные преимущества даже тех устройств, где аппаратно решена проблема широкого динамического диапазона измерений.

Измерение объемной влажности почвы (VWC, Volumetric Water Content), выражаемой в % (объем воды / объем почвы), является фундаментальным параметром для управления поливом и понимания состояния растений. В контексте IoT-систем доминируют ёмкостные датчики, измеряющие изменение диэлектрической проницаемости (ϵ) грунта: поскольку ϵ воды (~ 80) значительно выше, чем у минеральных частиц почвы ($\sim 3-5$) и воздуха (1), рост влажности приводит к увеличению общей ϵ почвы, что фиксируется датчиком. Основное преимущество ёмкостных сенсоров для IoT – крайне низкое энергопотребление (микроамперы в активном режиме) и относительная устойчивость к засоленности по сравнению с резистивными методами.

Резистивные датчики, основанные на измерении сопротивления между электродами в почве, малопригодны для точного мониторинга влажности почвы. Их показания сильно зависят от концентрации и состава солей, типа почвы, температуры и плотности. Фактически, резистивный датчик в большей степени измеряет электропроводность почвы, а не чистую влажность. Хотя взаимосвязь между влажностью и ЕС существует (более высокая влажность обычно увеличивает ЕС), попытки использовать резистивный метод для VWC приводят к значительным погрешностям ($>10-15\%$ VWC), так как солевой состав является независимым и сильно варьирующим фактором.

Высокоточные методы (TDR, TDT, FDR) используют распространение электромагнитных волн (импульсов или частотных сигналов) по волноводу, погруженному в почву. Скорость распространения или резонансная частота зависят от ϵ , что позволяет получить точность $\pm 1-3\%$ VWC и даже оценить профиль влажности по глубине. Однако их стоимость, энергопотребление и сложность установки делают их экономически и технически нецелесообразными для типичных распределенных IoT-сетей с сотнями/тысячами узлов.

Таким образом, ёмкостные датчики представляют собой оптимальный компромисс для систем IoT, балансируя между точностью, стоимостью, энергопотреблением и сложностью внедрения.

Для измерения температуры в агро-IoT применяются термопары (разность потенциалов на разнородных металлах), платиновые термометры сопротивления RTD (высокая точность по изменению сопротивления), термисторы NTC/PTC (сильное нелинейное изменение сопротивления) и кремниевые полупроводниковые датчики. Первые три типа, несмотря на свои нишевые преимущества (сверхширокий диапазон термопар, стабильность RTD, чувствительность NTC), имеют существенные ограничения для массовых IoT-развертываний: сложность и стоимость точного измерения (термопары, RTD), необходимость сложной калибровки (NTC), повышенное энергопотребление или требования к схемотехнике.

Абсолютным лидером в современных агро-IoT системах стали кремниевые полупроводниковые датчики, такие как повсеместно используемый DS18B20. Главным преимуществом является цифровой интерфейс, такой как 1-Wire в случае DS18B20, который позволяет подключать десятки датчиков к одной шине микроконтроллера, используя минимальное количество проводов. Эта особенность радикально упрощает разводку и снижает стоимость подключения в распределенных сетях с высокой плотностью точек измерения на разных глубинах почвы и в различных зонах поля. Не менее важна встроенная обработка сигнала: датчик типа DS18B20 самостоятельно выполняет оцифровку температуры (с программно настраиваемым разрешением от 9 до 12 бит) и предоставляет микроконтроллеру готовое цифровое значение, что устраняет необходимость в сложных внешних аналоговых цепях и минимизирует влияние шумов. Датчик обеспечивает высокую точность ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) в широком рабочем диапазоне температур (от -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$), полностью соответствующем агрономическим требованиям. Выдающаяся энергоэффективность позволяет устройству потреблять ничтожные токи (наноАмперы) в режиме ожидания, а кратковременные всплески при измерениях (миллиАмперы) легко управляемы.

Однако, сверхнизкое энергопотребление сенсоров было бы бесполезным без столь же эффективных технологий передачи данных на большие расстояния – это фундаментальное требование для жизнеспособности сельскохозяйственных IoT-систем. Этим задачам оптимально отвечают технологии LPWAN (Low Power Wide Area Network), ставшие де-факто стандартом для агросетей. К ним относятся LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox и другие. Их главная ценность – способ-

ность обеспечивать связь на расстояниях в километры (на открытой местности) при крайне низком энергопотреблении сенсорных узлов, что критично для автономных устройств с батарейным питанием.

Среди LPWAN-технологий LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) получила особо широкое распространение в агросекторе. Протокол изначально спроектирован для многолетней работы от батарей: использование узкополосной модуляции с расширенным спектром (Chirp Spread Spectrum - CSS) и низких скоростей передачи данных позволяет узлам расходовать на связь микроватты–милливатты. Как подтверждают исследования и практика внедрения, именно сочетание дальности и сверхнизкого энергопотребления делает LoRaWAN исключительно практичным для покрытия обширных сельскохозяйственных угодий. Полевые сети могут эффективно строиться с использованием небольшого количества шлюзов, собирающих данные с сотен распределенных сенсорных узлов.

При реализации сетей на базе LoRaWAN необходимо учитывать ряд технических особенностей и практических аспектов. Работа ведется в нелицензированных ISM-диапазонах (например, ~868 МГц в России/Европе). Важно отметить, что нормативная база, регулирующая использование этих частот (включая ограничения по времени передачи сигнала - Duty Cycle, обычно порядка 1%), может меняться, и разработчикам следует отслеживать регуляторные обновления, несмотря на текущую активную эксплуатацию технологии в России. Долговременная автономность в полевых условиях обеспечивается схемами питания с использованием батарей повышенной емкости (Li-SOCl₂ и др.) и/или компактных солнечных панелей, позволяющих развертывать сети даже в удаленных районах без электроснабжения. Важнейшей функцией для прецизионного земледелия является идентификация и геолокация: каждый пакет содержит уникальный ID устройства, а привязка координат узла при установке (через GPS модуль шлюза или ручную геометку) позволяет точно определять местоположение источника данных на карте поля для анализа пространственной вариативности параметров и адресного управления ресурсами на конкретных участках.

Хотя существуют альтернативы (например, Zigbee для коротких дистанций или NB-IoT), LoRaWAN остается доминирующим выбором для масштабных сельскохозяйственных IoT-сетей благодаря оптимальному балансу стоимости оборудования, дальности связи, энергоэффективности и относительной простоте развертывания.

Несмотря на потенциал, массовое внедрение IoT-сетей в сельском хозяйстве сталкивается с рядом взаимосвязанных вызовов. Достоверность данных остается глобальной проблемой: бюджетные датчики (особенно для рН и электропроводности) часто страдают от недостаточной точности и нестабильности показаний, особенно в экстремальных условиях или на границах диапазонов. Это требует частых калибровок и обслуживания, подрывая доверие к системе и увеличивая эксплуатационные затраты, в то время как высокоточные решения остаются экономически труднодоступными для многих хозяйств. Помимо качества сенсоров, значительную сложность представляет обеспечение надежного покрытия связи на обширных территориях. Хотя технологии вроде LoRaWAN обеспечивают большую дальность, реальное развертывание требует тщательного планирования с учетом рельефа местности (холмы, лесополосы), который может существенно ослаблять сигнал и создавать "мертвые зоны". Необходимость соблюдения регуляторных норм в нелицензированных диапазонах добавляет уровень неопределенности и требует готовности к адаптации. Отдельную сложность создает управление генерируемыми данными. Потоки информации с тысяч датчиков требуют не только стабильной передачи и хранения, но и эффективных инструментов для их анализа и превращения в практические рекомендации. Нехватка ИТ-специалистов в сельской местности, затраты на внедрение аналитических платформ и обеспечение кибербезопасности становятся серьезными барьерами для конечных пользователей — фермеров и агрономов. Наконец, суровая эксплуатационная среда сельхозугодий предъявляет повышенные требования к надежности оборудования. Датчики и шлюзы подвергаются воздействию агрессивных химикатов, риску механических повреждений от техники, экстремальным температурным перепадам, влаге, пыли и даже вандализму. Обеспечение долговечности в таких условиях требует применения специализированных, защищенных конструкций, что неизбежно сказывается на общей стоимости решений.

В целом, IoT-технологии кардинально трансформируют сельское хозяйство, переводя его на принципы прецизионного управления и ресурсной эффективности. Интеграция сетей датчиков с энергоэффективными LPWAN-протоколами, создает основу для обоснованных, данных-ориентированных решений по поливу, внесению удобрений и защите растений. Практика внедрения убедительно подтверждает эффективность этих систем: мониторинг почвенных параметров в режиме реального времени обеспечивает увеличение урожайности на 10-25% при одновременном сокращении расхода воды на 15-30% и

уменьшении применения удобрений на 10-20%. Этот доказанный экономический и ресурсосберегающий потенциал является главным драйвером экспоненциального роста глобального рынка агро-IoT, объем которого уже превышает миллиарды долларов и продолжает увеличиваться двузначными темпами ежегодно.

На текущий момент уже проводятся исследования и разработка решений в различных секторах по объединению IoT с алгоритмами искусственного интеллекта и машинного обучения, что в сфере агромониторинга открывает возможности для прогнозной аналитики (предсказание болезней, оптимизация сроков уборки) и адаптивного управления, а развитие телекоммуникационной инфраструктуры, включая спутниковый IoT, обеспечит охват даже самых удаленных территорий. Параллельно ожидается прогресс в стандартизации и снижении стоимости надежных, защищенных сенсоров и шлюзов, что устранил основные барьеры для массового внедрения.

Таким образом, эволюция агро-IoT ведет к принципиально новому уровню управления: фермеры получают возможность не просто реагировать, а прогнозировать состояние агроэкосистем и автоматизировать процессы. Этот переход существенно повысит продуктивность сельского хозяйства, укрепит его устойчивость и внесет значительный вклад в обеспечение глобальной продовольственной безопасности.

Список литературы

1. Горшков С. И., Петров А. В. Интернет вещей в сельском хозяйстве: Технологии и решения. — М.: Техносфера, 2022.
2. Смирнов В. Л., Ершов И. Н. Системы точного земледелия: теория и практика применения сенсорных технологий // Сельскохозяйственные машины и технологии. — 2021. — № 5. — С. 22–29.
3. Козлова М. А., Иванов Е. В. Применение беспроводных технологий LoRaWAN в аграрной отрасли // Информационные технологии в науке и образовании. — 2020. — № 3(35). — С. 14–18.
4. Дмитриева Н. С. Анализ рынка датчиков pH и ЕС для аграрных IoT-систем // Современные технологии в агроинженерии. — 2021. — № 2(19). — С. 41–47.
5. Липатов В. Ю., Никитина И. П. Энергоэффективность узлов сбора данных в системах точного земледелия // Вестник аграрной науки. — 2022. — № 3. — С. 36–42.

6. LoRa® and LoRaWAN®: Applications in Smart Agriculture: сайт URL: <https://www.semtech.com/lora/lora-applications/smart-agriculture> (дата обращения: 28.05.2025).
7. Benefits and Evolution of Precision Agriculture: сайт URL: <https://www.ars.usda.gov/oc/utm/benefits-and-evolution-of-precision-agriculture/> (дата обращения: 28.05.2025).
8. Zhang Y., Wang L., Li D. A Review of Precision Agriculture Technologies and Sensors // Sensors. — 2021. — Vol. 21, No. 8. — P. 2652.

References

1. Gorshkov S. I., Petrov A. V. Internet of Things in Agriculture: Technologies and Solutions. Moscow: Tekhnosfera, 2022.
2. Smirnov V. L., Ershov I. N. Precision Farming Systems: Theory and Practice of Sensor Technologies. Agricultural Machinery and Technologies, 2021, No. 5, pp. 22–29.
3. Kozlova M. A., Ivanov E. V. Application of LoRaWAN Wireless Technologies in Agriculture. Information Technologies in Science and Education, 2020, No. 3(35), pp. 14–18.
4. Dmitrieva N. S. Market Analysis of pH and EC Sensors for Agricultural IoT Systems. Modern Technologies in Agroengineering, 2021, No. 2(19), pp. 41–47.
5. Lipatov V. Yu., Nikitina I. P. Energy Efficiency of Data Collection Nodes in Precision Agriculture Systems. Agricultural Science Bulletin, 2022, No. 3, pp. 36–42.
6. LoRa® and LoRaWAN®: Applications in Smart Agriculture: website URL: <https://www.semtech.com/lora/lora-applications/smart-agriculture> (accessed: 28.05.2025).
7. Benefits and Evolution of Precision Agriculture: website URL: <https://www.ars.usda.gov/oc/utm/benefits-and-evolution-of-precision-agriculture/> (accessed: 28.05.2025).
8. Zhang Y., Wang L., Li D. A Review of Precision Agriculture Technologies and Sensors. Sensors, 2021, Vol. 21, No. 8, p. 2652.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНДАРТОВ ПОДПИСАНИЯ ДОКУМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ В БРАУЗЕРЕ: АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КРИПТОПРО И ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Пустовалов, А.И. Заревич

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

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы интеграции программного обеспечения КриптоПро с современными веб-приложениями информационных систем. Проанализированы архитектурные особенности КриптоПро Browser plug-in, выявлены узкие места производительности и проблемы совместимости с различными браузерами. Предложены подходы к унификации API для работы с криптографическими операциями в веб-среде. Исследованы возможности оптимизации взаимодействия между клиентской и серверной частями системы при использовании российских криптографических стандартов ГОСТ.

Ключевые слова: КриптоПро, веб-приложения, цифровая подпись, ГОСТ, CSP, электронная подпись в браузере, криптографическая интеграция.

STUDY OF ELECTRONIC SIGNATURE DOCUMENT STANDARDS IN BROWSER: ANALYSIS OF INTERACTION BETWEEN CRYPTOPRO SOFTWARE AND WEB APPLICATIONS OF INFORMATION SYSTEMS

A.A. Pustovalov, A.I. Zarevich

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

Abstract: The article examines the challenges of integrating CryptoPro software with modern web applications of information systems. Architectural features of the CryptoPro Browser plug-in are analyzed, performance bottlenecks and compatibility issues with various browsers are identified. Approaches to API unification for cryptographic operations in the web environment are pro-

posed. Opportunities for optimizing interaction between the client and server parts of the system when using Russian cryptographic standards GOST are explored.

Keywords: CryptoPro, web applications, digital signature, GOST, CSP, electronic signature in browser, cryptographic integration.

Переход к юридически значимому электронному документообороту создает высокие требования к надежности криптографических операций в клиентских веб-средах. В Российской Федерации использование электронной цифровой подписи (ЭЦП) регламентируется национальными стандартами ГОСТ Р 34.10-2012 и ГОСТ Р 34.11-2012, которые определяют алгоритмы формирования и проверки ЭЦП, а также функции хэширования.

Одним из наиболее распространенных средств реализации криптографических функций в веб-приложениях является программное обеспечение КриптоПро, включающее КриптоПро CSP (Cryptographic Service Provider) и КриптоПро ЭЦП Browser plug-in. Данные компоненты обеспечивают создание и проверку электронной подписи непосредственно в браузере пользователя, что позволяет реализовать полноценный электронный документооборот в веб-приложениях.

Однако интеграция КриптоПро с современными веб-приложениями сопряжена с рядом технических проблем, связанных с архитектурными особенностями плагина, совместимостью с различными браузерами и производительностью криптографических операций. Эти проблемы становятся особенно актуальными в контексте развития современных веб-технологий и требований к пользовательскому интерфейсу.

КриптоПро CSP представляет собой комплекс криптографических средств, обеспечивающих реализацию российских стандартов шифрования и электронной подписи. Архитектура системы включает следующие основные компоненты:

1. Криптографическое ядро – реализует алгоритмы ГОСТ 28147-89, ГОСТ Р 34.10-2012, ГОСТ Р 34.11-2012. Ядро обеспечивает выполнение базовых криптографических операций: генерацию ключей, шифрование, дешифрование, формирование и проверку электронной цифровой подписи;

Система управления ключами – обеспечивает генерацию, хранение и управление криптографическими ключами. Включает механизмы работы с контейнерами ключей, сертификатами и списками отозванных сертификатов;

2. Модуль аутентификации – реализует процедуры проверки подлинности сертификатов, включая проверку цепочки доверия и валидацию временных меток;

Интерфейс взаимодействия – предоставляет API для интеграции с прикладными программами через стандартные интерфейсы Microsoft Crypto API и PKCS.

КриптоПро ЭЦП Browser plug-in функционирует как посредник между веб-приложением и КриптоПро CSP, обеспечивая выполнение криптографических операций в браузере. Плагин состоит из следующих компонентов:

1. Модуль инициализации – отвечает за загрузку и инициализацию криптографических библиотек, проверку совместимости с установленной версией КриптоПро CSP;

JavaScript API – предоставляет интерфейс для взаимодействия веб-приложения с криптографическими функциями. API включает методы для работы с сертификатами, создания и проверки подписи, хэширования данных;

Модуль обработки сертификатов – управляет списком доступных сертификатов, их фильтрацией и отображением пользователю для выбора;

Модуль формирования подписи – реализует процедуры создания электронной подписи в различных форматах (CAAdES-BES, CAAdES-T, CAAdES-X Long Type 1).

Плагин работает в двух режимах: синхронный режим – используется в устаревших браузерах и обеспечивает последовательное выполнение операций, асинхронный режим – применяется в современных браузерах и позволяет выполнять операции без блокировки пользовательского интерфейса.

Российское законодательство определяет использование следующих криптографических стандартов:

1. ГОСТ Р 34.10-2012 – определяет алгоритм формирования и проверки электронной цифровой подписи на основе эллиптических кривых. Стандарт поддерживает два размера ключа: 256 и 512 бит;

2. ГОСТ Р 34.11-2012 «Стрибог» – функция хэширования, обеспечивающая вычисление хэш-значения для данных произвольной длины с фиксированным размером выходного значения 256 или 512 бит;

3. ГОСТ Р 34.12-2015 «Кузнечик» – алгоритм блочного шифрования с размером блока 128 бит и длиной ключа 256 бит.

Одной из основных проблем является обеспечение совместимости плагина с различными браузерами. Современные браузеры постепенно отказываются

от поддержки плагинов на основе NPAPI и ActiveX, что требует использования альтернативных технологий интеграции. С исторической точки зрения плагин эволюционировал от синхронной модели, характерной для ActiveX/NPAPI, к асинхронной, более дружелюбной к современным браузерам и требовательной к обработке ошибок и гонок состояний. При этом нормативно-правовая среда и отраслевые практики закрепляют использование ГОСТ-алгоритмов, что напрямую влияет на технологические выборы и зачастую требует нативных или доверенных реализаций.

Вариант интеграции с браузерами традиционно уязвим к атакам, эксплуатирующим браузерный контекст. Вмешательства в цепочку доставки (подмена скриптов), XSS со съемом контекстов и объектов, манипуляции параметрами API, а также повторы операций на уровне протокола — типовые угрозы, которые требуют системного внедрения контрмер: строгие политики содержания (CSP), целостные метки на ресурсы, аудит кода и статический анализ, минимизация доверенной поверхности плагина, а также протоколирование и корреляция событий на стороне сервера. Криптографическая прочность при этом должна сочетаться с корректностью следующих операций: безопасности хранения и обращения с контейнерами ключей, адекватной валидацией входных структур и защитой каналов подписи.

Разнообразие режимов и реализаций детерминирует потребность в унифицированном JavaScript-слое, абстрагирующем от различий между синхронной и асинхронной версиями плагина. Такой слой должен привести вызовы к единому асинхронному контракту, нормализовать поверхности ошибок, поддерживать обнаружение окружения и корректно маршрутизировать операции между доступными механизмами.

Публичные пакеты, такие как `crypto-pro`, демонстрируют подход к скрыванию различий и стандартизации сценариев получения сертификатов, подписания и проверки, а также способствуют переносу кода между браузерами и версиями инфраструктуры. На уровне производительности существенный вклад дает ленивое подключение `cadesplugin_api.js`, встроенная повторная инициализация без блокировки интерфейса, а также кэширование результатов проверки цепочек и индексов сертификатов.

Разумная пакетизация операций (например, группировка подписаний с минимизацией контекстных переключений) и перенос тяжелых вычислений в Web Workers позволяют снизить джиттер интерфейса. В комплексных системах

дополнительно учитывается влияние корпоративных прокси и фильтров на вызовы внешних сервисов валидации.

С учетом ограничений поддержки ГОСТ в стандартном Web Crypto API разумным представляется гибридный подход: нативные механизмы браузера применяются там, где это не противоречит нормативным требованиям (к примеру, для алгоритмов хэширования отличных от ГОСТ или вспомогательных операций), тогда как формирование юридически значимой подписи и операции, требующие сертифицированных реализаций, делегируются КриптоПро.

Резюмируя подходы, был проведен сравнительный анализ всех вариантов взаимодействия программного обеспечения КриптоПро и веб-приложений информационной системы и показан в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение подходов к автоматизации документооборота в условиях крупного бизнеса

Критерий	Плагин КриптоПро	Унифицированный JS-слой (обертка над КриптоПро)	Гибридный подход (Web Crypto API + КриптоПро для ГОСТ)
Совместимость браузеров	Зависит от NPAPI/Active X и поддержки расширений; проблемы в современных браузерах	Повышенная за счет абстракции, но зависит от наличия КриптоПро и политик среды	Максимальная, браузерная нативная часть уменьшает зависимость; ГОСТ-операции остаются через КриптоПро
Соответствие ГОСТ	Полное соответствие (ГОСТ Р 34.10-2012, CAdES)	Сохраняется, так как операции делегируются КриптоПро	Сохраняется для ГОСТ-операций; часть задач — нативно в браузере через Web Crypto API
Производительность (инициализация/подпись)	Выше накладные расходы на инициализацию	Улучшенная за счет ленивой загрузки и кэширования	Наилучший UX: часть операций быстро через Web

	циализацию и доступ к хранилищам; стабильная подпись	рования; снижение лагов UI	Crypto API; ГОСТ — через плагин КриптоПро
Безопасность фрон-тенда	Требует строгих политик доставки кода, целостности и CSP; риски XSS/MITM	Дополнительные риски в обертке снижаются при код-ревью и SRI; единая обработка ошибок	Минимальные риски за счет использования нативного API
Внедрение и сопровождение	Сложнее: установка, обновления, корпоративные ограничения	Средняя сложность: единый контракт для фронтенда	Ниже порог для части функций, но требуется одновременная поддержка плагина и браузерного API
Масштабируемость сценариев	Ограничена типом плагина и политиками операционной системы и браузера	Достаточно для типовых веб-сценариев	Высокая для кроссплатформенных и мобильных браузеров

Качество интеграции оценивается по совокупности критериев, охватывающих корректность криптографических процедур, кроссбраузерную совместимость, устойчивость к нагрузке и безопасность на уровне клиент-серверного взаимодействия.

Функциональные испытания проверяют формирование и верификацию подписи в целевых форматах CAdES, корректность фильтрации и выбора сертификатов, обработку исключительных сценариев. Совместимость оценивается на наборах браузеров и ОС с различными версиями CSP и плагинов, а также в условиях корпоративных ограничений (прокси, фильтры контента). Нагрузочные испытания фокусируются на времени инициализации, латентности опера-

ций при возрастающих объемах данных и длительных сессиях, контролируя использование памяти и деградацию отклика интерфейса.

Интеграция программного обеспечения КriptoПро с веб-приложениями информационных систем представляет собой сложную техническую задачу, требующую комплексного подхода к решению проблем совместимости, производительности и безопасности.

Анализ существующих решений показывает необходимость разработки унифицированных подходов к интеграции криптографических функций в веб-среде. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку новых методов интеграции криптографических функций, адаптированных к современным веб-технологиям и требованиям информационной безопасности.

Список литературы

1. Суворова, Г. М. Информационная безопасность : учебное пособие для вузов / Г. М. Суворова. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 253 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-13960-0.

2. Григорьев, М. В. Проектирование информационных систем : учебник для вузов / М. В. Григорьев, И. И. Григорьева. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 278 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-16340-7.

3. Мельников, В. П., Клейменов, С. А., Петраков, А. М. Информационная безопасность и защита информации : учебник / В. П. Мельников, С. А. Клейменов, А. М. Петраков. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Академия, 2020. – 336 с. – ISBN 978-5-7695-9222-5.

4. КriptoПро ЭЦП Browser plug-in – Раздел для разработчиков // cryptopro.ru. – URL: <https://cryptopro.ru/products/cades/plugin/developer> (дата обращения: 09.10.2025).

5. КriptoПро CADES ЭЦП Browser plug-in // Astra Linux. – URL: <https://wiki.astralinux.ru/pages/viewpage.action?pageId=53645421> (дата обращения: 09.10.2025).

6. ГОСТ Р 34.10-2012. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи. – Введ. 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 24 с.

7. ГОСТ Р 34.11-2012. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования. – Введ. 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 24 с.

8. ГОСТ Р 34.12-2015. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Блочные шифры. – Введ. 2016-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 16 с.

References

1. Suvorova, G. M. Information Security: Textbook for Universities / G. M. Suvorova. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2021. – 253 p. – (Higher Education). – ISBN 978-5-534-13960-0.

2. Grigoriev, M. V. Information Systems Design: Textbook for Universities / M. V. Grigoriev, I. I. Grigorieva. – Moscow: Yurayt Publishing House, 2025. – 278 p. – (Higher Education). – ISBN 978-5-534-16340-7.

3. Melnikov, V. P., Kleimenov, S. A., Petrakov, A. M. Information Security and Information Protection: Textbook / V. P. Melnikov, S. A. Kleimenov, A. M. Petrakov. – 6th ed., revised and enlarged. – Moscow: Academy, 2020. – 336 p. – ISBN 978-5-7695-9222-5.

4. CryptoPro EDS Browser plug-in – Developer Section // cryptopro.ru. – URL: <https://cryptopro.ru/products/cades/plugin/developer> (accessed: 09.10.2025).

5. CryptoPro CADES EDS Browser plug-in // Astra Linux. – URL: <https://wiki.astralinux.ru/pages/viewpage.action?pageId=53645421> (accessed: 09.10.2025).

6. GOST R 34.10-2012. Information Technology. Cryptographic Information Protection. Digital Signature Generation and Verification Processes. – Effective from 2013-01-01. – Moscow: Standartinform, 2012. – 24 p.

7. GOST R 34.11-2012. Information Technology. Cryptographic Information Protection. Hash Function. – Effective from 2013-01-01. – Moscow: Standartinform, 2012. – 24 p.

8. GOST R 34.12-2015. Information Technology. Cryptographic Information Protection. Block Ciphers. – Effective from 2016-01-01. – Moscow: Standartinform, 2015. – 16 p.

СОВРЕМЕННЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ: ИСТОРИЯ, КОНСТРУКЦИЯ, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Е.И. Скворцова, В.К. Зольников, А.С. Ягодкин

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

В статье рассмотрены основные типы авиационных двигателей, их устройство и принципы работы, а также современное состояние и перспективы мирового и российского двигателестроения. Проанализированы историческое развитие поршневых и газотурбинных установок, особенности конструкции турбовентиляторных двигателей, внедрение новых материалов, аддитивных технологий и цифровых систем управления. Особое внимание уделено экологическим аспектам, снижению шумности и выбросов, а также перспективам перехода к гибридным и электрическим силовым установкам. Сделан акцент на значимости двигателестроения для гражданской и военной авиации, а также на роли России в разработке и производстве современных авиационных двигателей.

Ключевые слова: авиационные двигатели, газотурбинные установки, поршневые двигатели, турбовентиляторные двигатели, ракетные двигатели, материалы, аддитивные технологии, цифровые системы управления, ПД-14, ПД-35, экологичность, гибридные и электрические двигатели, авиационная промышленность России.

MODERN AIRCRAFT ENGINES: HISTORY, DESIGN, NEW TECHNOLOGIES, AND ENVIRONMENTAL PROSPECTS

E.I. Skvortsova, V.K. Zolnikov, A.S. Yagodkin,

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

This article examines the main types of aircraft engines, their design and operating principles, as well as the current state and prospects of global and Russian engine manufacturing. It ana-

lyzes the historical development of piston and gas turbine engines, the design features of turbofan engines, and the introduction of new materials, additive manufacturing, and digital control systems. Particular attention is paid to environmental aspects, reducing noise and emissions, and the prospects for the transition to hybrid and electric powertrains. Emphasis is placed on the importance of engine manufacturing for civil and military aviation, as well as Russia's role in the development and production of modern aircraft engines.

Keywords: Aircraft engines, gas turbine units, piston engines, turbofan engines, rocket engines, materials, additive technologies, digital control systems, PD-14, PD-35, environmental friendliness, hybrid and electric engines, Russian aviation industry.

Авиационные двигатели — это сложнейшие устройства, обеспечивающие движение летательных аппаратов в воздушной среде. Их развитие определяет не только возможности современной авиации, но и научно-технический потенциал целых государств. Двигатели определяют скорость, высотность, грузоподъёмность и дальность полёта самолётов, а также эксплуатационные и экономические характеристики авиации в целом. Существование современной мировой авиации в её гражданском и военном варианте немыслимо без постоянного совершенствования авиационного двигателестроения, учитывающего требования эффективности, экологичности и надёжности.

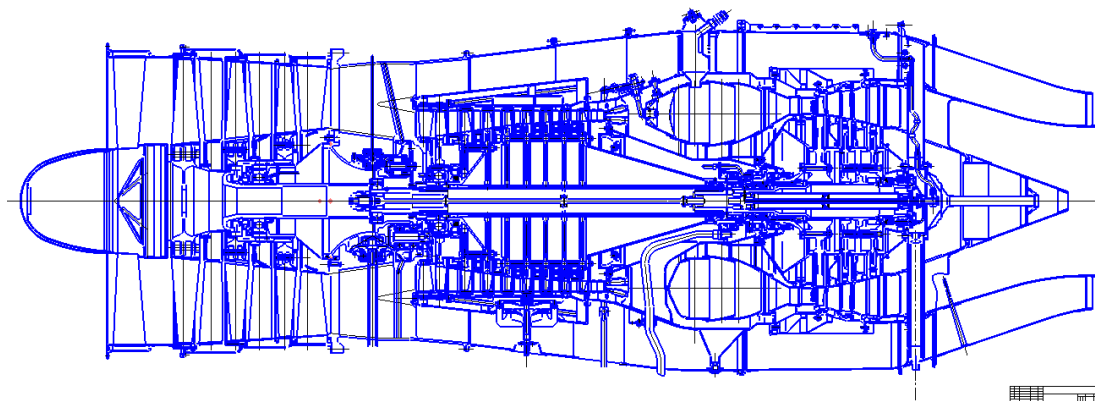


Рисунок 1 – Строение авиационного двигателя

Исторически первые авиационные двигатели были поршневыми. Они до сих пор применяются на лёгких и учебных самолётах, так как относительно просты и дешевы в производстве. Однако для нужд скоростной и тяжёлой авиации используются реактивные и газотурбинные двигатели.

Основные типы авиационных двигателей:

- поршневые: приводят во вращение воздушный винт, преобразуя тепловую энергию сгорающего топлива в механическую работу;
- газотурбинные двигатели: включают турбореактивные, турбовентиляторные, турбовинтовые;
- ракетные двигатели: используются на космических и некоторых военных летательных аппаратах, не требуют воздуха для сгорания;



Рисунок 2 – Радиальный звездообразный поршневой двигатель



Рисунок 3 – Газотурбинный турбовентиляторный авиационный двигатель

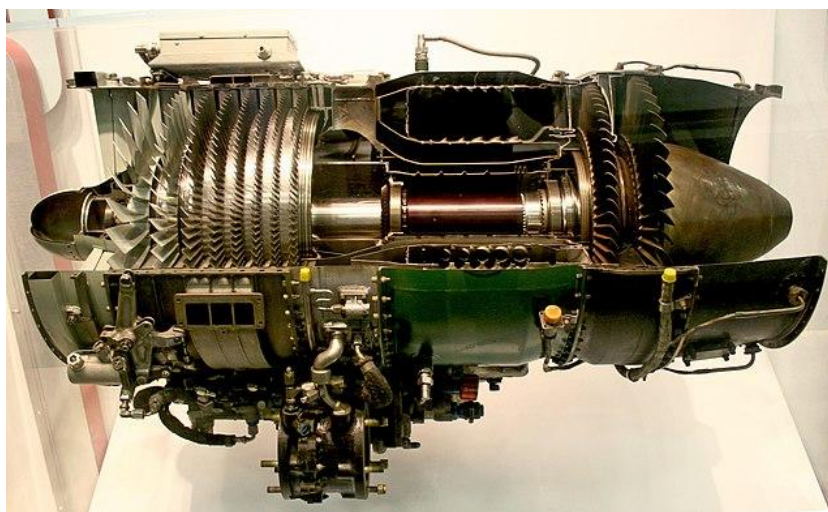


Рисунок 4 – Реактивный двигатель

Типовой газотурбинный реактивный двигатель включает несколько основных агрегатов: воздухозаборник, компрессор, камеру сгорания, турбину и реактивное сопло. Воздух поступает через воздухозаборник, сжимается компрессором до высокого давления, смешивается с топливом и сгорает в камере сгорания. Высокотемпературные газы вращают турбину, а энергия истекающих газов формирует реактивную тягу, двигая самолёт вперёд.

- Компрессор: сжимает воздух, повышая его давление до 10-35 атмосфер;
- Камера сгорания: смешивает сжатый воздух с топливом, возникает горение;
- Турбина: часть энергии горячих газов тратится на вращение компрессора;
- Сопло: оставшаяся энергия превращается в реактивную тягу.

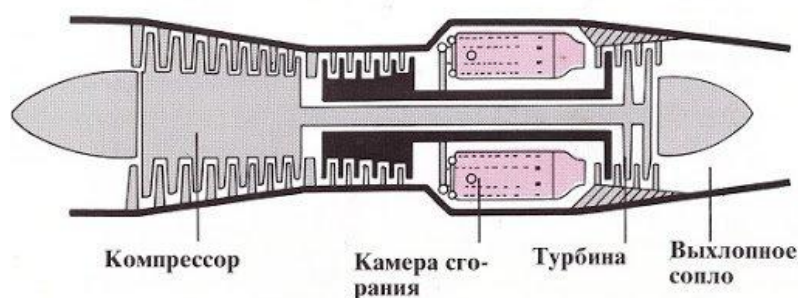


Рисунок 5 – Строение авиационного двигателя

В современных турбовентиляторных двухконтурных двигателях значительная часть воздуха обходит внутренний горячий тракт, создавая дополни-

тельную "холодную" тягу вентилятором. Такие двигатели эффективны и экономичны для гражданских лайнеров.

С каждым десятилетием авиационные двигатели становятся экономичнее, тише и экологичнее. В последние годы особое развитие получили двигатели с увеличенной степенью двухконтурности (отношение массы воздуха внешнего и внутреннего контуров), что обеспечивает увеличение тяги и снижение расхода топлива.

Материалы: активно внедряются композиты (угле- и металломатричные), жаропрочные сплавы и керамики для лопаток компрессоров и турбин;

- Аддитивные технологии: позволяют изготавливать детали сложной формы, снижают массу и стоимость;

- Цифровые системы управления: автоматизируют контроль параметров, делают двигатель более надёжным и эффективным.

Россия — одна из немногих стран, обладающих полным циклом разработки, производства и эксплуатации авиационных двигателей, гражданских и военных. Ключевые современные проекты:

- ПД-14: турбовентиляторный двигатель нового поколения, разрабатываемый для самолёта МС-21. Использует новейшие технологии и материалы, отличается повышенной экономичностью и сниженным уровнем шума;

ПД-8: двигатель для региональных летательных аппаратов;

Перспективный ПД-35: разрабатывается для широкофюзеляжных лайнеров и должен стать одним из самых мощных гражданских двигателей в мире;

Рассмотрим термодинамический расчет турбовентиляторного двигателя:

Таблица 1. Исходные данные

Полетные условия	
Высота	$H = 0 \text{ м}$
Температура наружного воздуха	$T_0 = 288,15 \text{ К}$
Давление наружного воздуха	$p_0 = 101325 \text{ Па}$
Параметры двигателя	
Степень повышения давления в компрессоре	$\pi_k = 25$
Температура газа перед турбиной	$T_g = 1450 \text{ К}$
Расход воздуха через двигатель	$G_v = 150 \text{ кг/с}$
Степень двухконтурности	$m = 8$

КПД и потери	
КПД компрессора	$\eta_k = 0,87$
Коэффициент восстановления в камере сгорания	$\eta_{kc} = 0,95$
КПД турбины	$\eta_t = 0,89$
Коэффициент скорости сопла	$\varphi = 0,98$
Термодинамические параметры	
$c_{pv} = 1005 \text{ кДж/кг} = 1,4$	
$c_{pg} = 1150 \text{ кДж/кг} = 1,33$	
Низшая теплота сгорания топлива $H_u = 43 \cdot 10^6$	

Сечение 1 (вход в двигатель)

$$T_1 = T_0 = 288,15$$

$$p_1 = p_0 \cdot 0,98 = 99300 \text{ Па}$$

Сечение 2 (за компрессором)

- Показатель политропы сжатия

$$\eta_k = \frac{k_v - 1}{k_v} = \frac{1,4 - 1}{1,4} = 0,2857$$

Температура за компрессором

$$T_2 = T_1 \left[1 + \frac{\pi_k^{\frac{1}{\eta_k}} - 1}{\eta_k} \right] = 288,15 \left[1 + \frac{25^{0,2857} - 1}{0,87} \right] = 787,8 \text{ К}$$

Давление за компрессором

$$p_2 = p_1 \cdot \pi_k = 99300 \cdot 25 = 2482500 \text{ Па}$$

Относительный расход топлива

$$g_t = \frac{c_{pg} T_g - c_{pv} T_2}{H_u - c_{pg} T_g} = \frac{1150 \cdot 1450 - 1005 \cdot 787,7}{43 \cdot 10^6 - 1150 \cdot 1450} = 0,02119$$

Абсолютный расход топлива

$$G_t = \frac{G_v g_t}{1 + m} = \frac{150 \cdot 0,02119}{1 + 8} = 0,353 \text{ кг/с}$$

Сечение 3 (за камерой сгорания)

$$T_3 = T_g = 1450 \text{ К} \quad p_3 = p_2 \cdot \eta_{kc} = 2482500 \cdot 0,95 = 2358375 \text{ Па}$$

Расход газа внутреннего контура

$$G_g = \frac{G_v}{1 + m} + G_t = \frac{150}{9} + 0,353 = 17,02 \text{ кг/с}$$

Работа компрессора

$$L_k = c_{pv}(T_2 - T_1) = 1,005 * (787,7 - 288,15) = 502,1 \text{ Дж/кг}$$

Работа вентилятора

$$T_{2v} = T_1 * 1,15 = 331,4 \text{ К} \quad L_v = c_{pv}(T_{2v} - T_1) \frac{m}{1+m} = 38,6 \text{ Дж/кг}$$

Работа турбины

$$L_t = \frac{L_k + L_v}{G_g/G_v} = 4765,6 \text{ Дж/кг}$$

Температура за турбиной

$$T_4 = T_3 - \frac{L_t}{c_{pg}} = 488,1 \text{ К}$$

Давление за турбиной

$$p_4 = p_3 * 0,25 = 589\,594 \text{ Па}$$

Скорость истечения газов при горячем контуре

$$c_{5г} = \varphi \sqrt{2c_{pg}T_4 * \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_4}\right)\right]^{(k_g-1)/k_g}} = 617,8 \text{ м/с}$$

Холодный контур

$$c_{5х} = \varphi \sqrt{2c_{pv}T_{2v} * \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_{2v}}\right)\right]^{(k_v-1)/k_v}} = 235,1$$

Тяга горячего контура

$$R_g = \frac{G_v}{1+m} c_{5г} = 10,3 \text{ кН}$$

Тяга холодного контура

$$R_x = G_v \frac{m}{1+m} * c_{5х} = 31,3 \text{ кН}$$

Общая тяга

$$R = R_g + R_x = 41,6 \text{ кН}$$

Удельный расход топлива

$$C_{уд} = \frac{G_t * 3600}{R/1000} = 30,53 \text{ кг(Н * с)}$$

Внутренний КПД

$$\eta_i = \frac{G_g * \frac{c_{5г}^2}{2} + G_v \frac{m}{1+m} \frac{c_{5г}^2}{2}}{G_t H_u} = 45,7\%$$

При ступенчатом расчёте выявлено, что при степени двухконтурности $m = 8$ достигается оптимальный баланс тяги (41,6 кН), экономичности (удельный расход 30,53 кг/(кН·ч)) и внутреннего КПД (45,7%). Именно такие параметры лежат в основе современных двигателей семейства ПД-14, и аналогичных турбовентиляторных моторов.

Военное двигателестроение: разработки включают различные варианты для истребителей пятого поколения, стратегической и фронтовой авиации.

Сегодня авиационная промышленность должна выполнять не только технические, но и экологические задачи. Ведутся активные разработки по снижению выбросов оксидов азота, углерода, уменьшению шума. Новые камеры сгорания обеспечивают более полную переработку топлива и снижают образование вредных веществ на 30-50% по сравнению с моторами предыдущих поколений.

Другим трендом становится использование биотоплива, водорода, электрических и гибридных установок для малой региональной авиации. Это направление только формируется, но уже внедряется на прототипах легких и средних самолетов.

Краткосрочные перспективы двигателестроения связаны с повышением степени двухконтурности, внедрением новых композитных и керамических материалов, максимальной цифровизацией (интернет вещей в эксплуатации, предиктивное обслуживание на основе ИИ). В среднесрочной перспективе — создание гибридных и электрических двигателей для малой и региональной авиации. В долгосрочной — электрификация и даже гиперзвуковые воздушные двигатели, основанные на принципах прямоточного воздушно-реактивного двигателя.

Список литературы

1. Иноземцев А.А., Нерадько А.В., Медведев В.В., Коняев Е.А. "Авиационный двигатель ПС-90А" // Авиационная техника и технологии. – 2023. – Т. 14, № 2. – С. 54–68.
2. Лукасов В.В., Данилейко Г.И. Современные тенденции развития газотурбинных двигателей // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2022. – Т. 19, № 3. – С. 90–101.
3. Григорьев В.А., Кузнецов С.П. Испытания авиационных двигателей: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2009. – 416 с.

4. Фельдман Е.Л., Черкасов Л.А., «Авиационный двухконтурный двигатель НК-86». — М.: Машиностроение, 1982.
5. Павловский «Вспомогательные силовые установки самолетов» — М.: Транспорт, 1977.
6. Орлов М.Ю., Горшкалев А.А., Корнеев С.С., Урлапкин В.В. «Авиационные двигатели внутреннего сгорания: монография». — Самара: Самарский университет, 2023.

References

1. Inozemtsev A.A., Neradko A.V., Medvedev V.V., Konyaev E.A. "PS-90A Aircraft Engine" // Aviation Engineering and Technology. - 2023. - Vol. 14, No. 2. - Pp. 54-68.
2. Lukasov V.V., Danileiko G.I. Modern Trends in the Development of Gas Turbine Engines // Problems of Mechanical Engineering and Automation. - 2022. - Vol. 19, No. 3. - Pp. 90-101.
3. Grigoriev V.A., Kuznetsov S.P. Testing of Aircraft Engines: a textbook for universities. - Moscow: Mashinostroenie, 2009. - 416 p.
4. Feldman E.L., Cherkasov L.A., "The NK-86 Bypass Aircraft Engine." Moscow: Mashinostroenie, 1982.
5. Pavlovsky, "Auxiliary Power Units of Aircraft." Moscow: Transport, 1977.
6. Orlov M.Yu., Gorshkalev A.A., Korneev S.S., Urlapkin V.V. "Aircraft Internal Combustion Engines: Monograph." Samara: Samara University, 2023.

БОРТОВОЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Е.И. Скворцова, В.К. Зольников, А.С. Ягодкин

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

В статье представлен аналитический обзор структуры, эволюции и современного состояния бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) воздушных судов. Рассмотрены ключевые группы систем — радиосвязь, радионавигация и радиолокация, а также тенденции интеграции функций в рамках концепции интегрированной модульной авионики. Особое внимание уделяется цифровой трансформации, внедрению технологий искусственного интеллекта, квантовых навигационных решений, а также задачам энергоэффективности и экологическим стандартам. Описаны перспективы развития отечественных БРЭО, направление на импортозамещение и создание интеллектуальных, отказоустойчивых комплексов для гражданских и военных авиационных аппаратов. Анализируется влияние новых технических и технологических решений на безопасность, надежность, эффективность и автоматизацию управления летательными аппаратами.

Ключевые слова: бортовое радиоэлектронное оборудование, авионика, интегрированная модульная архитектура, радиосвязь, радионавигация, радиолокация, искусственный интеллект, квантовые навигационные системы, энергоэффективность, импортозамещение, российская авиационная промышленность.

ON-BOARD RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

E.I. Skvortsova, V.K. Zolnikov, A.S. Yagodkin,

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

This article presents an analytical review of the structure, evolution, and current state of aircraft avionics. Key system groups—radio communications, radio navigation, and radar—are examined, along with trends in integrating functions within the integrated modular avionics concept. Particular attention is paid to digital transformation, the implementation of artificial intelligence technologies, quantum navigation solutions, energy efficiency, and environmental standards. The article

describes the prospects for the development of domestic avionics, the focus on import substitution, and the creation of intelligent, fault-tolerant systems for civil and military aircraft. The impact of new technical and technological solutions on the safety, reliability, efficiency, and automation of aircraft control is analyzed.

Keywords: on-board radio-electronic equipment, avionics, integrated modular architecture, radio communications, radio navigation, radar, artificial intelligence, quantum navigation systems, energy efficiency, import substitution, Russian aviation industry.

Бортовое радиоэлектронное оборудование является одним из важнейших компонентов современных воздушных судов, обеспечивающим безопасность полетов, эффективную навигацию и связь с наземными службами. В условиях постоянного усложнения воздушного пространства и ужесточения требований к безопасности полетов роль БРЭО становится все более критической. Современные летательные аппараты буквально пронизаны радиоэлектронными системами, от простейших радиостанций связи до сложнейших интегрированных комплексов управления полетом и навигации.

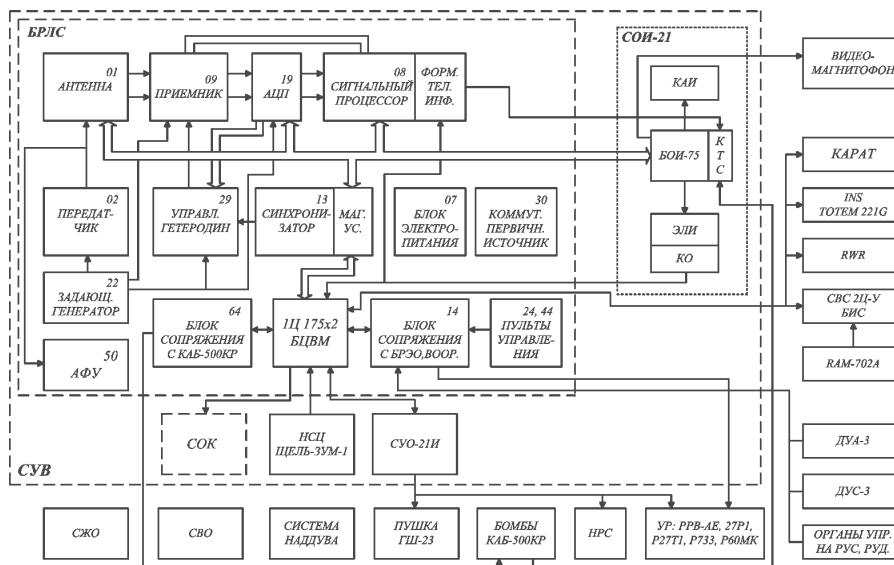


Рис.1 Бортовое радиоэлектронное оборудование современного самолета

Актуальность темы определяется быстрым ростом автоматизации полётов, широким внедрением БПЛА, переходом к цифровым архитектурам управления и появлением ИИ-компонент в контуре бортовых систем, а также ужесточением требований к безопасности и энергоэффективности авионики. Цель исследования — проанализировать эволюцию, текущее состояние и перспективные направления развития бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО), выявить технологические и организационные факторы, определяющие архитектуру и функциональность современных комплексов. Объект исследова-

ния — авиационные и беспилотные платформы с интегрированными системами БРЭО; предмет — принципы построения, интеграции и цифровизации БРЭО, включая навигацию, связь, РЛС, вычислительные платформы и программно-аппаратные средства ИИ.

История развития бортового радиоэлектронного оборудования началась в первой половине XX века с появлением первых авиационных радиостанций. В те времена радиооборудование было громоздким, ненадежным и обладало ограниченными возможностями. Однако уже тогда стало ясно, что без средств радиосвязи и радионавигации дальнейшее развитие авиации невозможно. Вторая мировая война дала мощный импульс развитию авиационной радиоэлектроники, поскольку военные действия потребовали создания надежных систем связи, навигации и радиолокации. Послевоенное развитие гражданской авиации, в свою очередь, стимулировало создание более совершенных и безопасных систем БРЭО.

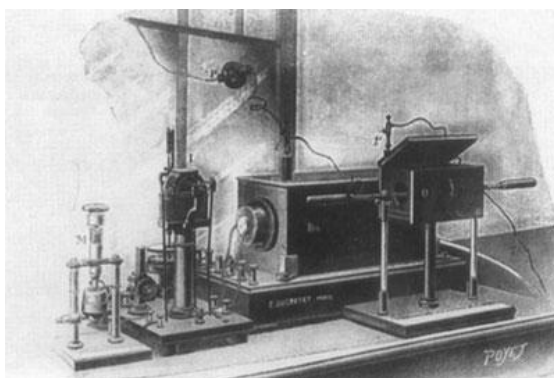


Рис.2 Первая авиационная радиостанция

Исследования последних лет фиксируют устойчивый переход от специализированных разрозненных блоков к интегрированным модульным архитектурам (ИМА) с высоконадежными вычислительными платформами реального времени, сертифицируемыми по авиационным стандартам (DO-178C/DO-254/ARP4754A и др.). Отмечается расширение роли GNSS/инерциальной интеграции, развитие активных РЛС с АФАР, а также рост значимости программных средств обработки и слияния данных. Одновременно обсуждаются вопросы жизненного цикла ПО, верификации ИИ-компонент, стандартизации интерфейсов и киберустойчивости. Несмотря на существенный прогресс, остаются открытыми проблемы масштабируемой сертификации алгоритмов машинного обучения, совместимости старых и новых подсистем, обеспечения энергоэф-

фективности при возрастающей вычислительной нагрузке и доводки квантовых навигационных решений до массового применения.

Современное бортовое радиоэлектронное оборудование представляет собой самый сложный комплекс систем, включающий средства радиосвязи, радионавигации, радиолокации, автоматического управления и контроля. К основным компонентам БРЭО относятся системы авиационной радиосвязи, обеспечивающие информационное взаимодействие экипажа с наземными службами управления воздушным движением и другими воздушными судами. Эти системы работают в различных частотных диапазонах и используют как аналоговые, так и цифровые методы передачи информации. Особое место занимают аварийно-спасательные радиосистемы, которые должны функционировать в экстремальных условиях и обеспечивать передачу сигналов бедствия даже при выходе из строя основных систем связи.



Рис.3 Современное бортовое радиоэлектронное оборудование

Радионавигационные системы составляют другую критически важную группу оборудования БРЭО. Современная авиационная навигация базируется на глобальных навигационных спутниковых системах GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou, которые обеспечивают высокоточное определение координат воздушного судна в любой точке земного шара. Однако наряду со спутниковыми системами продолжают использоваться традиционные радионавигационные средства, такие как системы инструментальной посадки ILS, всенаправленные радиомаяки VOR и автоматические радиоконпасы ADF. Эта избыточность обеспечивает надежность навигации и возможность продолжения полета даже при отказе отдельных систем.



Рис. 4. Вид экрана навигационного индикатора

Радиолокационное оборудование играет особую роль в обеспечении безопасности полетов. Современные авиационные радиолокационные комплексы являются высокоинтегрированными многофункциональными системами, обеспечивающими комплексный мониторинг воздушного пространства и метеорологической обстановки в трехмерном пространстве. Импульсно-доплеровские радиолокационные системы с активными фазированными антенными решетками (АФАР) демонстрируют возможности обнаружения воздушных целей на дальностях превышающих 300-400 километров при минимальной эффективной поверхности рассеяния от 0,01 квадратного метра. При обнаружении угрозы столкновения система автоматически выдает экипажу предупреждения типа ТА (Traffic Advisory) и, при необходимости, обязательные для исполнения команды уклонения RA (Resolution Advisory), координируя действия обоих воздушных судов для предотвращения катастрофы.



Рис.5 Радиолокационное оборудование

Интеграция различных систем в унифицированные комплексы представляет собой ключевое направление эволюции современного БРЭО. Концепция интегрированной модульной авионики (ИМА) предполагает объединение разнородных функций на единой вычислительной платформе с открытой сетевой архитектурой, что кардинально меняет подход к проектированию бортового оборудования.

Цифровая трансформация БРЭО представляет собой фундаментальную парадигму развития современной авионики. Миграция от аналоговой к цифровой элементной базе кардинально изменяет принципы построения бортовых радиоэлектронных систем, обеспечивая качественно новые возможности в области помехозащищенности, функциональной гибкости и системной интеграции.

Интеграция технологий искусственного интеллекта знаменует новую эпоху в эволюции БРЭО. Системы на базе ИИ могут автоматически анализировать радиолокационную информацию, оптимизировать маршруты полета в реальном времени, прогнозировать отказы оборудования и автоматически управлять радиоэлектронными системами. Это особенно важно для беспилотных летательных аппаратов, которые должны функционировать автономно без участия человека-оператора.

Российская промышленность демонстрирует значительные успехи в разработке современного БРЭО. Предприятия концерна "Радиоэлектронные технологии" и других организаций авиационно-промышленного комплекса создают конкурентоспособные системы для гражданских и военных воздушных судов. Особое внимание уделяется разработке оборудования для перспективных российских самолетов, таких как MC-21, SSJ-NEW и других. В рамках программы импортозамещения создаются отечественные аналоги зарубежных систем, которые не только соответствуют мировому уровню, но и часто превосходят их по отдельным характеристикам.

Траектория развития БРЭО ориентирована на создание высокоинтегрированных и интеллектуальных систем нового поколения. Процесс интеграции и автоматизации достигает качественно нового уровня с внедрением технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и предиктивной аналитики, обеспечивающих автономное принятие решений в режиме реального времени.

Внедрение квантовых навигационных технологий открывает принципиально новые возможности для создания автономных систем позиционирования, превосходящих по точности традиционные GNSS в 50 раз. Квантовые инерци-

альные навигационные системы (Q-INS), основанные на использовании ультрахолодных атомов и конденсатов Бозе-Эйнштейна, демонстрируют полную независимость от спутниковых сигналов и устойчивость к глушению и подделке. Первые коммерческие испытания квантовых навигационных систем в авиации подтверждают их готовность к практическому применению в критически важных областях в качестве резервных или основных систем.

Экологические императивы формируют новые стандарты разработки БРЭО с фокусом на энергоэффективность и использование экологически чистых материалов. Современные требования предусматривают снижение энергопотребления более чем на 20% для новых систем, что особенно критично для электрических и гибридных воздушных судов. Интеграция интеллектуальных алгоритмов управления энергопотреблением на базе IoT и машинного обучения обеспечивает дополнительную экономию энергии до 15-20% за счет адаптивной оптимизации режимов работы оборудования.

Список литературы

1. Леньшин А.В., Тихомиров Н.М., Попов С.А. Бортовые радиоэлектронные системы. Основы построения // Вестник авиации. 2023. Т. 14, № 2. С. 54–68.
2. Кучерявый А.А. Авионика: учебное пособие. – М.: ЭБС Лань, 2024
3. Земляной Е.С. Основы разработки программного обеспечения бортового радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов: учебное пособие. – М., 2022.
4. Гендин А.Я., Кузнецов В.А. «Авиационная электроника и электротехника». — М.: Радио и связь, 2020.
5. Дубровин Ю.Г. «Основы построения и функционирования авиационного бортового оборудования». — М.: Транспорт, 2019.
6. Земляной Е.С. «Основы разработки программного обеспечения авиационного бортового радиоэлектронного оборудования: Учебное пособие». — М., 2022.

References

1. Lenshin A.V., Tikhomirov N.M., Popov S.A. Onboard Radio-Electronic Systems. Design Basics // Aviation Bulletin. 2023. Vol. 14, No. 2. pp. 54–68.
2. Kucheryavy A.A. Avionics: A Tutorial. Moscow: EBS Lan, 2024
3. Zemlyany E.S. Fundamentals of Aircraft Onboard Radio-Electronic Equipment Software Development: A Tutorial. Moscow, 2022.
4. Gendin A. Ya., Kuznetsov V. A. "Aviation Electronics and Electrical Engineering". Moscow: Radio and Communications, 2020.
5. Dubrovin Yu. G. "Fundamentals of the Design and Operation of Aircraft Onboard Equipment". Moscow: Transport, 2019.
6. Zemlyany E. S. "Fundamentals of Software Development for Aircraft Onboard Radio-Electronic Equipment: A Tutorial". Moscow, 2022.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВИАКОНСТРУКЦИЙ

Е.И. Скворцова, В.К. Зольников, А.С. Ягодкин

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

В статье представлен аналитический обзор структуры, эволюции и современного состояния высокопрочных материалов для авиаконструкций. Рассмотрены основные группы используемых материалов, включая металлические, полимерные и композиционные, а также современные тенденции перехода к наноструктурированным и интеллектуальным композициям. Особое внимание уделено технологическим аспектам повышения прочности, термостойкости, снижению массы конструкций и соблюдению экологических стандартов. Описаны перспективы внедрения отечественных материалов, реализуемые в рамках программ импортозамещения, а также задачи по энергоэффективности, ресурсосбережению и экологической безопасности авиационной отрасли. Анализируется влияние инновационных технических решений на надежность, долговечность, безопасность и снижение эксплуатационных затрат авиационных аппаратов.

Ключевые слова: высокопрочные материалы, авиаконструкции, композиционные материалы, металлические сплавы, полимеры для авиации, наноматериалы, энергоэффективность, импортозамещение, экологическая безопасность, российская авиационная промышленность, инновационные технологии.

ON-BOARD RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

E.I. Skvortsova, V.K. Zolnikov, A.S. Yagodkin,

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

This article presents an analytical review of the structure, evolution, and current status of high-strength materials for aircraft structures. It examines the main groups of materials used, including metallic, polymer, and composite, as well as current trends toward nanostructured and intelligent composites. Particular attention is paid to the technological aspects of increasing strength and

heat resistance, reducing structural weight, and meeting environmental standards. It describes the prospects for the introduction of domestic materials, implemented through import substitution programs, as well as the challenges of energy efficiency, resource conservation, and environmental safety in the aviation industry. The impact of innovative technical solutions on the reliability, durability, safety, and reduced operating costs of aircraft is analyzed.

Keywords: высокопрочные материалы, авиаконструкции, композиционные материалы, металлические сплавы, полимеры для авиации, наноматериалы, энергоэффективность, импортозамещение, экологическая безопасность, российская авиационная промышленность, инновационные технологии.

Современная авиационная промышленность предъявляет чрезвычайно высокие требования к конструкционным материалам, используемым в создании летательных аппаратов. Высокопрочные материалы являются основой для создания безопасных, эффективных и экономически выгодных воздушных судов, способных выдерживать экстремальные нагрузки в условиях полета. В XXI веке развитие авиационного материаловедения характеризуется переходом от традиционных металлических сплавов к композиционным материалам нового поколения, обладающим уникальными свойствами прочности, легкости и долговечности.

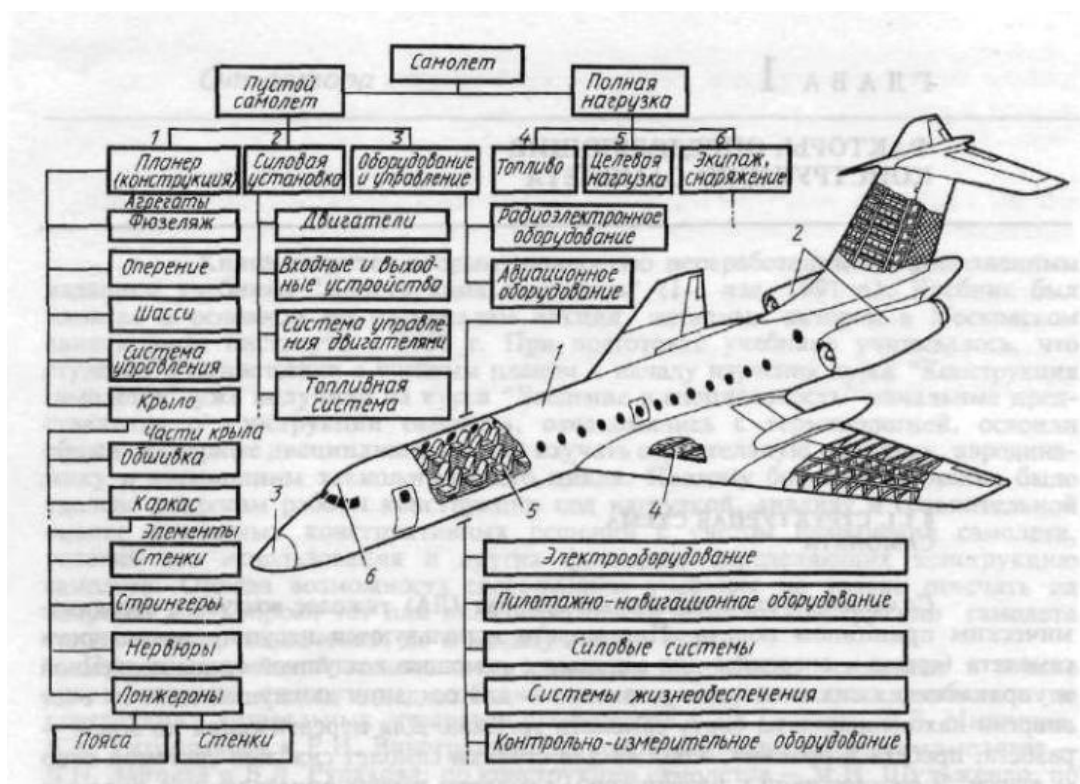


Рис. 1 Основные части самолета

Высокопрочные материалы в авиации должны обладать комплексом специфических характеристик, определяющих их пригодность для применения в авиационных конструкциях. Основным параметром является удельная прочность - отношение предела прочности материала к его плотности. Этот показатель критически важен для авиации, поскольку каждый дополнительный килограмм веса конструкции непосредственно влияет на расход топлива и эксплуатационные характеристики воздушного судна. Современные высокопрочные материалы должны также демонстрировать высокую усталостную прочность, поскольку авиационные конструкции подвергаются циклическим нагрузкам в течение всего срока эксплуатации.

Важнейшими характеристиками авиационных материалов являются сопротивление ударным воздействиям, коррозионная стойкость и стабильность свойств в широком диапазоне температур. Авиационные конструкции работают в условиях резких перепадов температур - от отрицательных значений на высоте крейсерского полета до высоких температур в зонах двигателей. Материалы должны сохранять свои прочностные характеристики при температурах от минус 60°C до плюс 200°C для планера и до 1600°C для деталей двигателей. Дополнительно требуется устойчивость к воздействию авиационного топлива, гидравлических жидкостей и других эксплуатационных сред.

Композиционные материалы на основе углеродного волокна представляют собой наиболее перспективный класс высокопрочных материалов для авиационных применений. Углепластики состоят из углеродных волокон диаметром 5-10 микрон, объединенных полимерной матрицей на основе эпоксидных, полиимидных или других термореактивных смол. Предел прочности на растяжение современных углеродных волокон достигает 7000 МПа, что в 3-4 раза превышает прочность высококачественных сталей при плотности в 4-5 раз меньше. Модуль упругости углеродного волокна составляет 200-800 ГПа, что обеспечивает высокую жесткость конструкций при минимальной массе.

Особенностью углепластиков является их анизотропия свойств - максимальная прочность достигается в направлении ориентации волокон. Это позволяет создавать оптимальные конструкции, в которых волокна ориентированы в направлениях основных силовых потоков. Современные углепластики демонстрируют удельную прочность 2000-3000 МПа/(г/см³), что в 10-15 раз превышает показатели алюминиевых сплавов. Дополнительными преимуществами углепластиков являются низкий коэффициент температурного расширения, вы-

сокая усталостная прочность и способность гасить вибрации, что снижает уровень шума и повышает комфорт пассажиров.

Российская промышленность достигла значительных успехов в создании углепластиков авиационного качества. НИИГрафит и другие предприятия Росатома освоили производство углеродных волокон различных марок с характеристиками, соответствующими лучшим мировым образцам. В 2025 году объем производства композитных материалов для авиации в России увеличился до 385 тонн, что обеспечивает потребности отечественного авиастроения в высокопрочных материалах. Крыло самолета МС-21 стало первым в мире крылом пассажирского лайнера, полностью изготовленным из российского углепластика.



Рис. 2 Часть крыла, изготавливаемая из углепластика

Стеклопластики представляют более доступную альтернативу углепластикам для менее нагруженных элементов авиационных конструкций. Стекланные волокна обладают пределом прочности на растяжение 3000-4000 МПа при значительно более низкой стоимости по сравнению с углеродными волокнами.



Рис. 3 Применение стеклопластика в обтекателях

Модуль упругости стекловолокна составляет 70-85 ГПа, что меньше, чем у углеродного волокна, но достаточно для многих авиационных применений. Стеклопластики широко используются для изготовления обтекателей, элементов интерьера, вспомогательных конструкций и деталей, не испытывающих критических нагрузок.

Базальтовые волокна представляют перспективное направление развития композиционных материалов благодаря сочетанию хороших механических свойств с экологической безопасностью и доступностью сырья. Базальтовые волокна получают из природного базальта путем плавления и вытягивания в тонкие нити. Предел прочности базальтового волокна достигает 4000 МПа при модуле упругости 100 ГПа. Базальтопластики обладают повышенной термостойкостью по сравнению со стеклопластиковыми и могут применяться при температурах до 300°C. В российской авиации базальтовые композиты используются для создания теплозащитных экранов, элементов двигательных отсеков и других термонагруженных деталей.

Арамидные волокна, известные под торговыми марками Kevlar и Nomex, обладают уникальным сочетанием высокой прочности на растяжение с исключительной ударной вязкостью. Предел прочности арамидных волокон составляет 3000-4000 МПа при плотности 1,4-1,5 г/см³, что обеспечивает высокую удельную прочность. Особенностью арамидных композитов является их способность поглощать энергию удара без катастрофического разрушения. Эти ма-

териалы применяются в авиации для изготовления защитных панелей, элементов, подверженных ударным воздействиям, и в гибридных композитах в сочетании с углеродными волокнами.

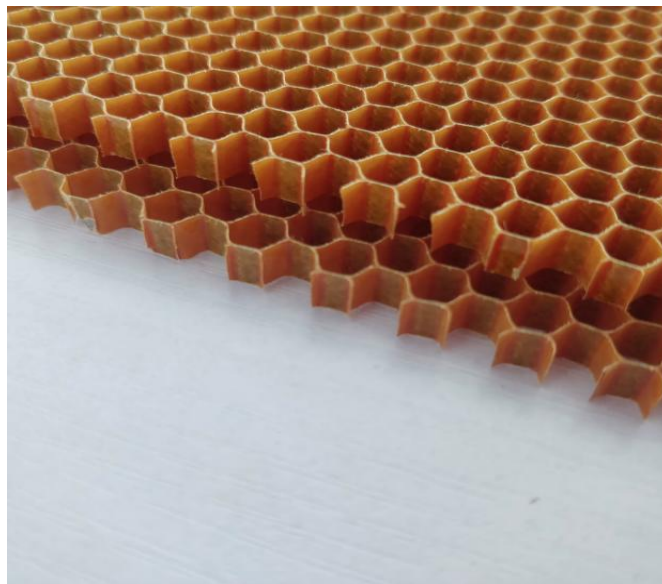


Рис. 4 Применение арамидных волокон

Металломатричные композиты представляют специальный класс высокопрочных материалов, в которых металлическая матрица армирована высокопрочными волокнами или частицами. Наибольшее применение в авиации получили композиты на основе алюминиевых сплавов, армированных углеродными или борными волокнами, а также титановые композиты с волокнами карбида кремния. Металломатричные композиты сочетают высокие механические свойства композитов с технологичностью металлов - они могут обрабатываться традиционными методами механической обработки, сварки и пайки.

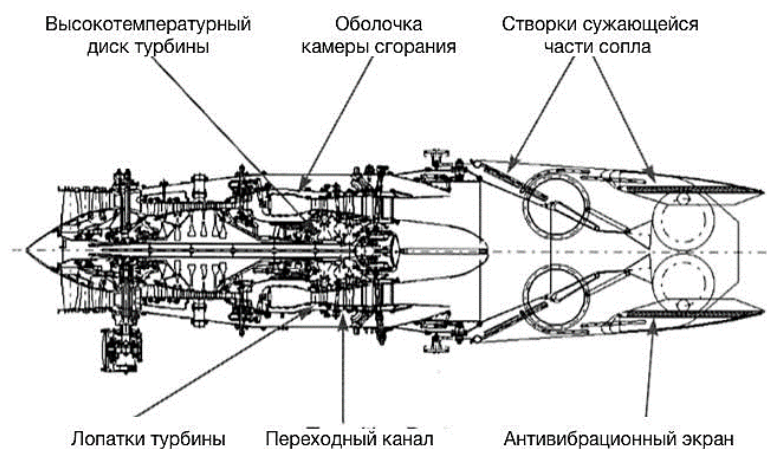


Рис.5 Применение металломатричных композитов в авиационном двигателе

Алюминиевые металломатричные композиты характеризуются удельной прочностью, достигающей $1000 \text{ МПа}/(\text{г}/\text{см}^3)$, и значительно превосходят традиционные алюминиевые сплавы по модулю упругости. Титановые металломатричные композиты отличаются выдающейся жаропрочностью и устойчивостью к коррозионному воздействию, что обуславливает их критическую важность для компонентов авиационных двигателей и элементов конструкции, эксплуатируемых в условиях повышенных температур. Отечественные производственные предприятия успешно внедрили технологии изготовления металломатричных композитов для силовых установок авиационной техники следующего поколения, что способствует увеличению эксплуатационной эффективности двигателей при одновременном сокращении их массовых характеристик.

Керамические композиционные материалы предоставляют уникальные возможности для разработки и производства конструктивных элементов, функционирующих в условиях экстремально высоких температурных режимов. Керамические матрицы на основе карбида кремния, нитрида кремния или оксида алюминия, армированные керамическими волокнами, способны выдерживать температуры до 1600°C при сохранении высоких механических свойств. Эти материалы применяются в наиболее теплонагруженных элементах авиационных двигателей - турбинных лопатках, камерах сгорания и соплах. Использование керамических композитов позволяет повысить температуру рабочего процесса в двигателе на $200\text{-}300^\circ\text{C}$, что обеспечивает увеличение термодинамической эффективности и снижение удельного расхода топлива на 8-12%.

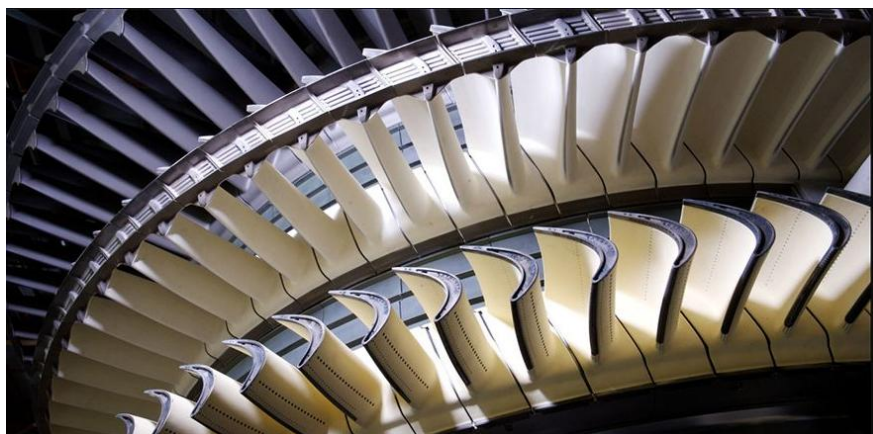


Рис. 6 Применение керамических композитных материалов в турбинах лопаток

Наноматериалы представляют передовое направление развития высокопрочных авиационных материалов. Углеродные нанотрубки обладают теоретической прочностью до 100 ГПа при плотности 1,3 г/см³, что в десятки раз превышает характеристики существующих материалов. Графен, представляющий собой однослойную структуру углерода, демонстрирует прочность до 130 ГПа и уникальные электрические свойства. Наноматериалы могут использоваться как самостоятельно для создания сверхлегких и сверхпрочных конструкций, так и в качестве добавок к традиционным композитам для улучшения их свойств.

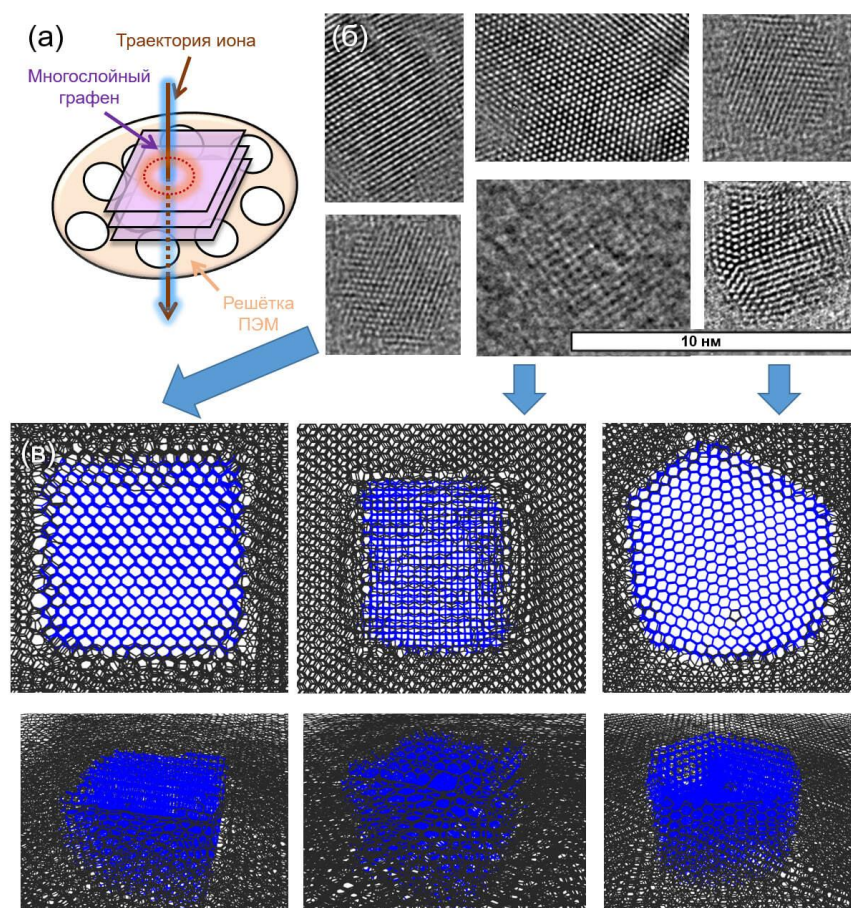


Рис. 7. Микроскопическое изображение графена и углеродных нанотрубок

Применение высокопрочных материалов в различных элементах авиационных конструкций определяется спецификой нагружения и условий эксплуатации. Крылья современных самолетов изготавливаются преимущественно из углепластиков, что обеспечивает снижение массы на 20-30% по сравнению с алюминиевыми конструкциями. Композитное крыло обладает повышенной усталостной прочностью и позволяет создавать оптимальные аэродинамические

формы благодаря технологичности формования. Фюзеляж также все чаще изготавливается из композиционных материалов, особенно в зонах максимальных нагрузок и в местах крепления крыла.

Элементы шасси требуют исключительно высокой прочности и ударной вязкости, поэтому для их изготовления применяются высокопрочные стали, титановые сплавы и металломатричные композиты. Стойки шасси должны выдерживать многократные ударные нагрузки при посадке и обеспечивать безопасность воздушного судна в аварийных ситуациях. Современные материалы для шасси обладают пределом прочности 1200-1800 МПа при высокой вязкости разрушения.

Авиационные двигатели предъявляют наиболее жесткие требования к материалам из-за экстремальных условий эксплуатации. Лопатки компрессора изготавливаются из титановых сплавов или металломатричных композитов, обеспечивающих работоспособность при температурах до 600°C. Турбинные лопатки работают при температурах 1200-1600°C и изготавливаются из жаропрочных никелевых суперсплавов с керамическими теплозащитными покрытиями или из керамических композиционных материалов. Камеры сгорания также используют керамические композиты или жаропрочные металлы с развитыми системами охлаждения.

Перспективы развития высокопрочных авиационных материалов связаны с созданием многофункциональных композитов, интегрирующих конструкционные и функциональные свойства. Инновационные "умные" материалы оснащаются встроенными датчиками, которые позволяют им отслеживать свое техническое состояние в реальном времени и оперативно передавать данные в системы мониторинга самолета. Самовосстанавливающиеся композиты обладают способностью автоматически устранять микрповреждения, что значительно продлевает срок службы авиационных конструкций и повышает их надежность. Адаптивные материалы способны менять свои свойства в ответ на изменяющиеся условия эксплуатации, оптимизируя параметры конструкции для различных режимов полета и обеспечивая максимальную эффективность работы воздушного судна.

Биомиметические материалы, разработанные с учетом принципов природных структур, предоставляют революционные возможности для совершенствования авиационных конструкций. Иерархические структуры, воспроизводящие организацию костной ткани или древесных волокон, обеспечивают оптимальное перераспределение механических напряжений и достигают макси-

мальной удельной прочности при критически важном снижении массы конструкции. Функционально-градиентные материалы с постепенно изменяющимися физико-механическими свойствами позволяют создавать авиационные элементы, специально адаптированные под конкретные эксплуатационные нагрузки и условия работы.

Биокomпозиты на основе натуральных волокон и биоразлагаемых матриц могут применяться в неответственных элементах конструкции, снижая экологическое воздействие авиации. Рециклируемые термопластичные композиты обеспечивают возможность повторного использования материалов в конце жизненного цикла изделий. Снижение массы конструкций за счет применения высокопрочных материалов напрямую влияет на сокращение расхода топлива и выбросов парниковых газов.



Рис.8. Сборка самолета из различных конструктивных материалов на Воронежском авиационном заводе

Список литературы

1. Композиционные материалы для авиастроения / Под ред. Коваленко В.П. – М.: Наука, 1992
2. Левин В.М. Теория пластичности и прочности. – М.: Наука, 1990.
3. Ильин Е.А. Металлические и композиционные материалы для авиастроения. – СПб: БХВ-Петербург, 2015.
4. И.В. Леонтьев, А.В. Королёв, "Материаловедение конструкционных материалов для авиации". — М.: Машиностроение, 2015.
5. И.С. Томашевский, "Современные композиты в авиационной промышленности". — СПб.: Политехника, 2021.
6. А.А. Фомин, Е.В. Казанцев, "Титановые и тугоплавкие сплавы в авиастроении". — М.: УрО РАН, 2019.

References

1. Lenshin A.V., Tikhomirov N.M., Popov S.A. Onboard Radio-Electronic Systems. Design Basics // Aviation Bulletin. 2023. Vol. 14, No. 2. pp. 54–68.
2. Kucheryavy A.A. Avionics: A Tutorial. Moscow: EBS Lan, 2024
3. Zemlyany E.S. Fundamentals of Aircraft Onboard Radio-Electronic Equipment Software Development: A Tutorial. Moscow, 2022.
4. I. V. Leontiev, A. V. Korolev, "Materials Science of Structural Materials for Aviation". Moscow: Mashinostroenie, 2015.
5. I. S. Tomashevsky, "Modern Composites in the Aviation Industry". St. Petersburg: Polytechnic, 2021.
6. A. A. Fomin, E. V. Kazantsev, "Titanium and Refractory Alloys in Aircraft Construction". Moscow: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2019.

ВЫБОР И СРАВНЕНИЕ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

А.В. Сухарский

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

Аннотация: статья посвящена различным коаксиальным кабелям применяющихся в различных сферах связи. Несмотря на растущую конкуренцию со стороны оптоволокна и витой пары, коаксиальный кабель остается критически важным элементом в телевизионных, интернет- и коммуникационных системах. Однако его внешняя простота обманчива. В статье рассматриваются различные коаксиальные кабели.

Ключевые слова: Коаксиальный кабель, волновое сопротивление, затухание сигнала, экранирование, омедненная сталь, частота сигнала, гибкость

SELECTION AND COMPARISON OF COAXIAL CABLES

A.V. Sukharsky

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

Abstract: The article is devoted to various coaxial cables used in various fields of communication. Despite the growing competition from fiber and twisted pair, coaxial cable remains a critical element in television, Internet, and communications systems. However, its external simplicity is deceptive. The article discusses various coaxial cables.

Keywords: Coaxial cable, wave resistance, signal attenuation, shielding, copper-plated steel, signal frequency, flexibility

Коаксиальный кабель — один из главных элементов современной связи. Несмотря на рост популярности оптоволокна и витой пары, он остается незаменимым для передачи телевизионного сигнала, организации интернет-соединения, работы антенн и в профессиональных видео- и аудиосистемах. Од-

нако при взгляде на полку в магазине может показаться, что все они выглядят одинаково. На самом деле, различия между ними кардинальны и определяют качество и дальность сигнала.

Базовая анатомия коаксиального кабеля

Чтобы понять различия, нужно знать из чего состоит кабель. Его структура напоминает слоеный пирог:

1. Центральная жила (проводник): Передает сигнал. Бывает монолитной (одна медная проволока) для жесткости или многопроволочной (пучок тонких проволок) для гибкости.
2. Изоляция (диэлектрик): Оболочка из вспененного полиэтилена или тефлона, которая окружает центральную жилу. Она фиксирует расстояние между жилой и экраном, что критично для волнового сопротивления.
3. Экран (оплетка): Один или несколько слоев из медной или алюминиевой оплетки и/или фольги. Его задача — защищать внутренний сигнал от внешних электромагнитных помех (ЕМИ) и не давать сигналу "излучаться" наружу.
4. Внешняя оболочка: Защищает все внутренние слои от механических повреждений, влаги и ультрафиолета. Материал (PVC, PE) зависит от условий прокладки (улица, помещение).

Ключевые параметры отличий

Именно комбинация этих параметров определяет назначение кабеля.

1. Волновое сопротивление (импеданс)

Это самый важный параметр. Он измеряется в Омах (Ω) и должен соответствовать импедансу подключенного оборудования (антенны, роутера, телевизора, усилителя).

75 Ом — самый распространенный стандарт. Используется в телевизионных системах (эфирное, спутниковое, кабельное ТВ), в системах видеонаблюдения и для широкополосного доступа в интернет (DOCSIS).

50 Ом — стандарт для профессиональной радиосвязи, любительских радиостанций, GSM- и Wi-Fi-антенн, измерительной аппаратуры. Кабели на 50 Ом оптимизированы для передачи мощных сигналов с минимальными потерями.

Важно: Смешивать кабели с разным импедансом нельзя! Это приводит к значительным потерям сигнала и искажениям.

2. Толщина (диаметр) центральной жилы и кабеля в целом

Чем толще центральная жила и чем больше общий диаметр кабеля, тем ниже затухание сигнала (потери). Затухание измеряется в дБ/метр и сильно зависит от частоты: чем выше частота сигнала (например, для спутникового ТВ ~2 ГГц), тем потери больше.

Именно поэтому для разных задач существуют кабели разной толщины. Их часто обозначают стандартизированными маркировками (RG-6, RG-59 и т.д.).

3. Качество и тип экранирования

Экранирование — это защита от помех. Чем оно лучше, тем стабильнее сигнал, особенно в условиях сильных электромагнитных наводок (рядом с мощными кабелями, в промышленных зонах).

Одинарный экран: Фольга + одна оплетка (например, 64%). Достаточно для домашнего ТВ в зоне с хорошим сигналом.

Двойной экран: Фольга + две оплетки (например, 96% + 64%). Хороший баланс цены и качества, подходит для большинства городских условий.

Четырехслойный экран (Quad Shield): Две фольги + две оплетки. Максимальная защита от помех. Обязателен для длинных трасс, спутникового ТВ (DVB-S2) и прокладки рядом с силовыми кабелями.

4. Материал проводника

Медь (Cu): Идеальный проводник, но дорогой. Используется для центральной жилы в качественных кабелях.

Омедненная сталь (CCS - Copper Clad Steel): Стальная жила, покрытая слоем меди. Дешевле, обладает большей прочностью на разрыв, но имеет более высокое затухание на низких частотах. Подходит для передачи сигналов высокой частоты (спутник).

Алюминий (Al): Часто используется в оплетке экрана как более дешевая альтернатива меди.

Таблица 1 – Типы кабелей

Параметр	RG-6/U	RG-59/U	RG-11/U	RG-58/U
Импеданс	75 Ом	75 Ом	75 Ом	50 Ом
Диаметр жилы	~1.0 мм	~0.64 мм	~1.63 мм	~0.9 мм
Общий диаметр	~6.9 мм	~6.2 мм	~10.3 мм	~5.0 мм
Затухание	Низкое	Высокое	Очень низкое	Среднее

Основное применение Кабельное/спутниковое ТВ, интернет Аналоговое видео (CCTV), короткие ТВ-магистралы Длинные магистралы (свыше 50м), профессиональные системы Радиосвязь, Wi-Fi антенны, радиочастотное оборудование

Ключевая особенность "Золотой стандарт" для домашнего использования

Устаревший, высокие потери на высоких частотах Минимальные потери на больших расстояниях, но менее гибкий 50-омный кабель, не совместим с ТВ-оборудованием

Какой кабель выбрать? Практические рекомендации

Для эфирного или кабельного ТВ / Интернета в квартире: Оптимальный выбор — RG-6 с двойным экраном. Длины до 30 метров.

Для спутникового ТВ (Триколор, НТВ+): Обязательно RG-6 с четырехслойным экраном (Quad Shield). Это защитит слабый спутниковый сигнал от любых помех.

Для системы видеонаблюдения (CCTV):

Для аналоговых камер на короткие расстояния (<30м) подойдет RG-59.

Для цифровых (AHD, TVI) и на большие расстояния лучше использовать RG-6.

Для прокладки кабеля на 50+ метров (от антенны до телевизора в частном доме): Рассмотрите толстый RG-11. Его стоимость компенсируется гораздо лучшим сигналом на конце линии.

Для подключения GSM- или Wi-Fi-антенны к модему/роутеру: Вам нужен 50-омный кабель, например, RG-58 для коротких расстояний или более толстый LMR-200 для длинных.

Заключение

Выбор коаксиального кабеля — это не просто покупка "провода". Это подбор ключевого элемента системы, от которого напрямую зависит стабиль-

ность и качество связи. Обращайте внимание на импеданс, тип экранирования и толщину кабеля. Экономия на кабеле может свести на нет все преимущества дорогого телевизора, спутникового ресивера или системы видеонаблюдения.

Список литературы

1. Карл Ротхаимель Антенны . — Бояныч , 1999.
2. Смирнов В. Л., Ершов И. Н. Системы точного земледелия: теория и практика применения сенсорных технологий // Сельскохозяйственные машины и технологии. — 2021. — № 5. — С. 22–29.
3. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ Журнал «Радио». — 2005. — С. 49 – 59.
4. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ — 2018. — С. 60-80.
5. Справочник по коаксиальным кабелям сайт URL: https://www.qrz.ru/reference/cables/rk_cable_1.html?ysclid=mi234dkuuh295837999 (дата обращения: 10.10.2025).
6. Антенны Гончаренко сайт URL: <http://dl2kq.de/> (дата обращения: 10.10.2025).
7. Коаксиальные кабели сайт URL: <https://radioskot.ru/publ/spravochnik/koaksialnyj-kabel?ysclid=mi232s10fi414372910> (дата обращения: 10.10.2025).
8. Развитие любительской радиосвязи / А. С. Ягодкин, В. И. Анциферова, А. В. Сухарский // Моделирование информационных систем : Материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–20 мая 2021 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 2021. – С. 329-332. – DOI 10.34220/MIS 329-332. – EDN GIGKRP.
9. Развитие радиосвязи / А. С. Ягодкин, В. И. Анциферова, В. И. Силонов, А. В. Сухарский // Моделирование информационных систем : Материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–20 мая 2021 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», 2021. – С. 325-328. – DOI 10.34220/MIS 325-328.
10. Трансиверы в современном мире / А. С. Ягодкин, В. И. Анциферова, А. В. Сухарский, А. В. Латынин // Современные аспекты моделирования систем и процессов : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 08 февраля 2021 года / Отв. редактор

В.К. Зольников. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 205-208. – DOI 10.34220/MAMSP_205-208.

References

1. Carl Rothaimel Antennas. — Boyanych, 1999.
2. Smirnov V. L., Yershov I. N. Precision farming systems: theory and practice of using sensor technologies // Agricultural machines and technologies. — 2021. — No. 5. — pp. 22-29.
3. Goncharenko I.V. Antennas of HF and VHF Radio Magazine. — 2005. — Pp. 49-59.
4. Goncharenko I.V. Antennas of HF and VHF — 2018. — pp. 60-80.
5. Handbook of coaxial cables website URL: https://www.qrz.ru/reference/cables/rk_cable_1.html?ysclid=mi234dkuuh295837999 (date of request: 10.10.2025).
6. Goncharenko Antennas website URL: <http://dl2kq.de> / (date of request: 10.10.2025).
7. Coaxial cables website URL: <https://radioskot.ru/publ/spravochnik/koaksialnyj-kabel?scld=mi232s10fi414372910> (date of request: 10.10.2025).
8. Development of amateur radio communications / A. S. Yagodkin, V. I. Antsiferova, A.V. Sukharsky // Modeling of information systems : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, May 19-20, 2021. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2021. pp. 329-332. – DOI 10.34220/MIS 329-332. – EDN GIGKRP.
9. Development of radio communications / A. S. Yagodkin, V. I. Antsiferova, V. I. Silonov, A.V. Sukharsky // Modeling of information systems : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, May 19-20, 2021. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2021. pp. 325-328. DOI 10.34220/MIS 325-328.
10. Transceivers in the modern world / A. S. Yagodkin, V. I. Antsiferova, A.V. Sukharsky, A.V. Latynin // Modern aspects of modeling systems and processes : Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, February 08, 2021 / Editor-in-chief V.K. Zolnikov. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2021. pp. 205-208. DOI 10.34220/MAMSP_205-208.

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ «MYCOLOGY GUIDE» ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГРИБОВ

К.О. Чечукова

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

Аннотация. В статье рассматриваются особенности разрабатываемой мобильной платформы «Mycology Guide» для идентификации грибов, безопасности при их сборе, и построения сообщества грибников.

Ключевые слова: приложение, камера, технологии, грибы, сообщество, безопасность.

DEVELOPMENT OF A MOBILE PLATFORM "MYCOLOGY GUIDE" FOR IDENTIFICATION OF MUSHROOMS

K.O. Chechukova

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

Abstract. This article examines the features of the "Mycology Guide" mobile platform, currently under development, for identifying mushrooms, promoting safety during foraging, and building a community of mushroom pickers.

Keywords: app, camera, technology, mushrooms, community, security.

Одной из самых популярных видов хобби и отдыха для миллионов людей в России является сбор грибов. Но данное хобби несет за собой не мало опасности, основной причиной которых является критически малое знание о съедобных и ядовитых грибах. В свою очередь бумажные справочники не всегда могут помочь неопытным грибникам. Для решения сложившейся ситуации предлагается проект «Mycology Guide» - представляющий собой мобильное прило-

жение на базе операционных систем iOS и Android. Сочетая в себе современные технологии в области искусственного интеллекта и обширную базу данных идентификации пригодности грибов в пищу. Основной целью проекта является создание удобного и надежного помощника, для любого человека, что позволит снизить количество трагичных случаев связанных с отравлений ядовитых грибов.

Благодаря ориентированности на потребности грибников и нижеперечисленные функции, которые взаимодополняют друг друга, можно считать проект «Mycology Guide» уникальным.

Центром всего приложения можно считать функцию распознавания изображений грибов с использованием ИИ. Грибнику использующему это приложение, достаточно сделать фотографию найденного гриба, и Mycology Guide в течении нескольких секунд предоставит достоверную информацию вида данного гриба. На старте проекта точность ИИ в распознавании грибов будет достигать не менее 95% для топ-50 самых распространенных грибов в российской зоне обитания.

Так-же проект будет предоставлять подробную карточку гриба, которая будет включать в себя не только ботаническое описание, но и практическую информацию: времена для сбора, ореолы обитания, пищевую ценность и рецепты приготовления. Благодаря данному функционалу проект направлен не только на сиюминутный результат, а также на постепенное обучение грибников самим распознавать виды грибов.

В планах так же создать интерактивную карту грибных мест. С ростом пользовательской активности, грибники могут отмечать места произрастания грибов. Что в свою очередь позволит пользовательскому сообществу создать актуальную карту грибов. В свою очередь эта социально-сетевая функция повысит интерес к приложению и поспособствует росту пользовательской базы.

Для реализации данного проекта потребуются современные технологии в сфере разработки мобильных приложений и ИИ, что позволит создать удобное, быстрое и надежное приложение. Планируется использовать нативные технологии для iOS – язык Swift и Kotlin для Android. Что в свою очередь даст высокую производительность и бесшовную работы с операционными системами. Backend проекта будет работать на облачных системах, таких как отечественный Yandex Cloud или аналог AWS, что позволит надежно хранить данные пользователей и с легкостью масштабировать проект. Аналогично с облачной системой, картографические API будут реализованы на базе Yandex Maps.

Центральная функция проекта строится на разработке модели искусственного интеллекта. Для ее реализации будет использована сверточная нейронная сеть, которая позволяет оптимально использовать серверные мощности для распознавания изображения грибов и их дальнейшей классификации на виды. Для обучения модели будет использована размеченная база грибов, в размере 5000 изображений. Для этого будут задействованы фреймворки для машинного обучения, такие как: TensorFlow или PyTorch. Они в свою очередь позволят эффективно обучить модель в приложении.

Разработка будет проводиться распределённой командой. Финансирование на первом этапе планируется за счет гранта по программе «Студенческий стартап» в размере 1 млн. рублей, который будет расходоваться на разработку, облачные сервисы и маркетинг. Базовый функционал будет предоставляться бесплатно в целях увеличения аудитории, а за счет оформления премиум-подписки будет открываться доступ к расширенным возможностям, например оффлайн-режим и дополнительная аналитика.

В данное время на рынке мобильных приложений похожей тематики есть несколько решений.

Например, приложение PlantNet или iNaturalist, имеют широкую базу данных связанных с множеством видов флоры. Из недостатков можно выделить неточность в определении грибов, из-за того, что их модели искусственного интеллекта обучались на общих базах флоры, что приводит к частым ошибкам и не позволяет безопасно положиться на данные приложения

Так же существует множество специализированных грибных справочников для мобильных платформ, большинство из них созданы на базе печатных справочников по грибам. Что в свою очередь требует от пользователей наличие базового представления о видах грибов.

Опираясь на вышеизложенное, можно предположить, что проект занимает уникальную нишу, объединяя три ключевых компонента: высокоточное компьютерное зрение на базе ИИ-определителя, большую справочную базу с акцентом на безопасность, а также интерактивную карту грибов. Благодаря узко направленности приложения будет достигаться высокая точность приложения, а социальная часть приложения, в виде интерактивной карты, поможет удерживать аудиторию.

Опираясь на популярный вид отдыха в России и острую нехватку информации о нем, можно считать, что проект мобильного приложения «Mycology Guide» является актуальным и социально значимым решением. Грамотно соче-

тая технологии искусственного интеллекта, тщательный подбор проработанного образовательного контента и социальное взаимодействие позволят дать пользователям уникальный опыт. Благодаря большому запросу в обществе, потенциальная аудитория может насчитывать миллионы пользователей. Так же низкие издержки при проектировании данного проекта открывает путь к быстрой окупаемости и стабильному росту проекта в экономической и социальной сферах. Успешная реализация проекта приведет не только к финансовому успеху, но и внесет существенный вклад в решение важной проблемы в российском обществе, сохранив здоровье и жизни многих людей.

Список литературы

1. Труфляк, Е. В. Цифровые технологии в сельском хозяйстве и городской среде : учебник для вузов / Е. В. Труфляк. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 448 с. — ISBN 978-5-507-48980-0. // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/401024> (дата обращения: 03.10.2025)
2. iNaturalist — URL: <https://www.inaturalist.org> (дата обращения: 03.10.2025)
3. Бессмертный, И. А. Искусственный интеллект : учебное пособие / И. А. Бессмертный. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2010. — 132 с. // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/43663> (дата обращения: 03.10.2025).
4. Северский, С. И. Проблемы внедрения информационно-коммуникационных технологий в лесное хозяйство и комплексные решения / С. И. Северский, Н. В. Малышева, И. Б. Пьянков // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. — 2015. — Т. 19, № 2. — С. 144-152.

References

1. Truflyak, E. V. Digital Technologies in Agriculture and Urban Environment: a textbook for universities / E. V. Truflyak. - St. Petersburg: Lan, 2024. - 448 p. - ISBN 978-5-507-48980-0. // Lan: electronic library system. - URL: <https://e.lanbook.com/book/401024> (accessed: 03.10.2025)
2. iNaturalist – URL: <https://www.inaturalist.org> (accessed: 03.10.2025)
3. Bessmertny, I. A. Artificial Intelligence: a tutorial / I. A. Bessmertny. - St. Petersburg: NRU ITMO, 2010. - 132 p. // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/43663> (date of access: 03.10.2025).
4. Seversky, S. I. Problems of implementation of information and communication technologies in forestry and integrated solutions / S. I. Seversky, N. V. Malysheva, I. B. Pyankov // Bulletin of the Moscow State University of Forestry - Forest Bulletin. - 2015. - Vol. 19, No. 2. - P. 144-152.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ

А.В. Шпинев, А.Н. Потапов

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

Аннотация: С постоянной миниатюризацией топологических норм и ростом степени интеграции современных микроконтроллеров и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) их уязвимость к воздействию ионизирующего излучения в космическом пространстве становится все более критичной. Особую опасность представляют тяжелые заряженные частицы (ТЗЧ) – высокоэнергетические ионы, способные при единичном попадании в чувствительный объем кристалла вызывать одиночные сбои, приводящие к нарушению функциональности или полному отказу электронных систем космических аппаратов.

Цель данной статьи – детально рассмотреть физические механизмы воздействия тяжелых заряженных частиц на полупроводниковые структуры, проанализировать природу одиночных сбоев и современные методы проектирования стойкой электронной компонентной базы. Особое внимание уделяется практическим аспектам применения специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР), таких как Synplify Premier, для автоматического внедрения механизмов защиты на уровне комбинационных схем, конечных автоматов и блоков памяти.

Ключевые слова: тяжелые заряженные частицы (ТЗЧ), одиночные сбои, радиационная стойкость, микроконтроллеры, ПЛИС, чувствительный объем, механизмы защиты, Synplify Premier, троирование, космическая электроника.

EFFECTS OF HEAVY CHARGED PARTICLES ON MICROCONTROLLERS

A.V. Spinev, A.N. Potapov

Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov

Abstract. With the constant miniaturization of topological standards and the increasing degree of integration of modern microcontrollers and programmable logic integrated circuits

(FPGAs), their vulnerability to ionizing radiation in outer space is becoming increasingly critical. Heavy charged particles (HPPs), high-energy ions capable of causing single failures upon a single hit into a sensitive crystal volume, leading to a malfunction or complete failure of spacecraft electronic systems, are particularly dangerous.

The purpose of this article is to consider in detail the physical mechanisms of the effect of heavy charged particles on semiconductor structures, to analyze the nature of single failures and modern methods of designing a stable electronic component base. Special attention is paid to the practical aspects of using specialized computer-aided design (CAD) systems, such as Synplify Premier, for the automatic implementation of protection mechanisms at the level of combination circuits, finite automata and memory blocks.

Keywords: heavy charged particles, single failures, radiation resistance, microcontrollers, FPGA, sensitive volume, protection mechanisms, Synplify Premier, tethering, space electronics.

Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом

Тяжелые заряженные частицы теряют энергию при прохождении через вещество благодаря взаимодействию с атомами среды. К этой категории частиц относятся ядра всех стабильных элементов - от водорода (H) до урана. Основные каналы энергетических потерь включают:

1) Упругое рассеяние:

Сохранение суммарной кинетической энергии системы "налетающая частица + частица-мишень" до и после взаимодействия.

2) Возбуждение атомов (неупругое рассеяние):

Передача части энергии налетающей частицы электронам атома-мишени, что приводит к их переходу на более высокие энергетические уровни.

3) Ионизация атомов (неупругое рассеяние):

Полная передача энергии связи электрону, приводящая к его высвобождению из атома. Особый случай - образование δ -электронов, обладающих достаточной энергией для последующей ионизации соседних атомов.

4) Ядерные реакции:

Прямое взаимодействие с ядрами атомов, вызывающее их трансформацию в ядра других элементов с возможным выбросом вторичных ионизирующих частиц.

5) Другие каналы:

Каждый из этих механизмов вносит определенный вклад в общие энергетические потери тяжелых заряженных частиц при их прохождении через вещество.

Ключевые процессы взаимодействия: четыре случая ионизации, при которых частица посредством кулоновского взаимодействия выбивает электроны с атомов, расположенных вблизи ее траектории. Параллельно показан процесс возбуждения атома - электрон, получив порцию энергии, переходит на более высокий энергетический уровень, а затем возвращается в основное состояние, испуская фотон.

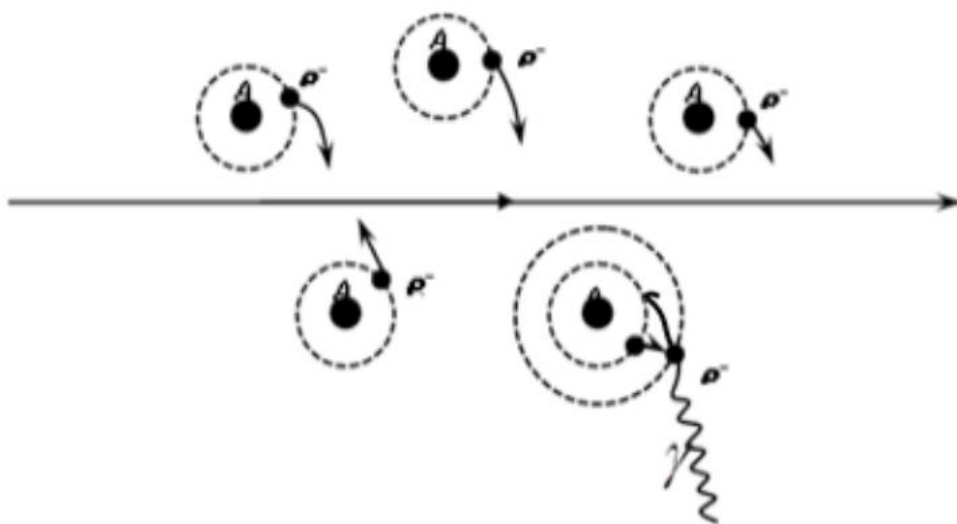


Рисунок 1 – Прохождение тяжелой положительно заряженной частицы через вещество

Основной механизм потерь энергии тяжелыми заряженными частицами обусловлен неупругими столкновениями, вызывающими возбуждение и ионизацию атомов среды. Характерной особенностью поведения таких частиц является их способность сохранять первоначальное направление движения, несмотря на многократное рассеяние. При этом распределение переданной энергии (дозы) по глубине вещества имеет характерную особенность - относительно равномерное распределение с резким увеличением вблизи точки остановки, формирующим выраженный максимум (пик Брэгга).

Важно отметить, что после достижения пика дозная кривая не обрывается резко, а постепенно снижается, образуя так называемый "хвост". Этот эффект, особенно выраженный для углерода, объясняется вторичными процессами, в частности излучением γ -квантов, возникающих в результате ядерных реакций. Такая особенность распределения энергии имеет важное значение для понимания радиационных эффектов в различных материалах.

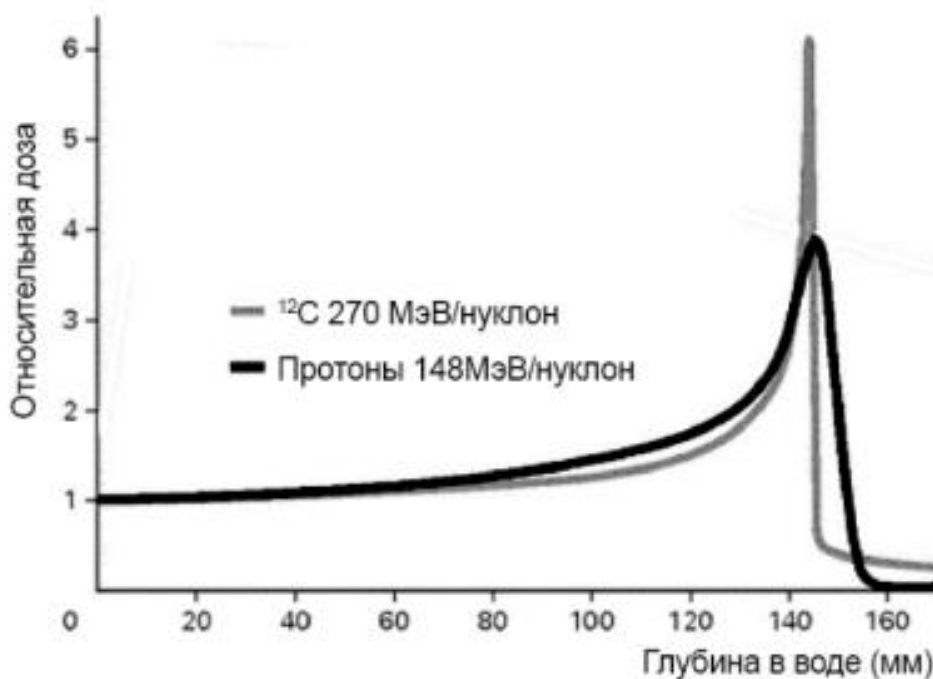


Рисунок 2 – Зависимость дозы от глубины для пучка протонов и углерода

Из вида этих графиков ясно, что, увеличивая или уменьшая энергию частиц, мы будем увеличивать или уменьшать глубину нахождения пиках[1].

Одиночные сбои

Феномен сбоев в интегральных схемах, вызванных воздействием одиночных частиц, впервые привлек серьезное внимание научного сообщества после публикации 1979 года, в которой анализировались необъяснимые отказы микросхем производства Intel. Исследователи установили, что причиной неисправностей являлись α -частицы, образующиеся при распаде урановых включений в керамическом материале корпусов. Источником загрязнения оказалось сырье, добытое на территории бывших урановых разработок. Впоследствии аналогичные проблемы были зафиксированы в продукции IBM, где источником радиации оказались примеси в технологических жидкостях, используемых при производстве.

Параллельно с изучением этих случаев, в том же 1979 году Зиглер и Ленфорд выдвинули гипотезу о возможном влиянии вторичных нейтронов, образующихся при взаимодействии космического излучения с атомами атмосферы. Однако эта теория получила официальное признание лишь в 1996 году после специальной публикации в IBM Journal of Research and Development.

До конца XX века проблема обсуждалась преимущественно в узкопрофессиональных кругах. Ситуация изменилась после появления материалов в Forbes (2000) и EE Times (2002), особенно после публикации под провокационным заголовком о небезопасности коммерческих компонентов для авиационной техники, что привлекло внимание широкой общественности.

Физика возникновения сбоев.

Принципиальный механизм нарушения работы микросхем заключается в следующем:

- 1) Проникающая частица вызывает ионизацию атомов кремния.
- 2) Образующиеся электронно-дырочные пары разделяются электрическим полем p-n перехода.
- 3) Возникающий импульс тока может изменить состояние ячейки памяти.

В случае нейтронного воздействия ионизация происходит опосредованно - через ядерные реакции с атомами кристаллической решетки.

Современные тенденции и методы защиты.

В профессиональной среде продолжаются дискуссии о влиянии миниатюризации элементов на устойчивость к сбоям. Несмотря на разногласия относительно вероятности сбоев в отдельных элементах, общее количество отказов на кристалл продолжает расти пропорционально увеличению степени интеграции.

Современные подходы к решению проблемы можно классифицировать на:

- 1) Профилактические меры:
 - a) Применение КНИ-технологий (снижение чувствительности в 5-10 раз)
 - b) Разработка специализированных ячеек памяти (например, DICE-архитектура)
- 2) Системные методы:
 - a) Алгоритмы коррекции ошибок
 - b) Схемы резервирования и восстановления

Крупнейшие производители полупроводниковых компонентов продолжают интенсивные исследования в этом направлении, учитывая возрастающую важность проблемы для критически важных применений.

Если сбой всё же произошёл, применяются методы обнаружения и исправления ошибок. Для регулярных структур (память, регистры) используют

дополнительные контрольные разряды, например, коды Хемминга (ЕСС), позволяющие находить и исправлять ошибки. Для нерегулярных структур (арифметические устройства, конечные автоматы) традиционно применяют резервирование (DMR, TMR), но из-за высокой стоимости разрабатываются более эффективные методы, требующие глубокого понимания работы защищаемого блока.

Лидером в разработке сбоеустойчивых систем является IBM, создающая их с 1960-х годов. Её последние процессоры – Power6 (2007) и Z10 (2008) – выполнены по 65-нм технологии КНИ и обладают высокой устойчивостью к сбоям. Оба используют ЕСС для защиты памяти и данных, логические контроллеры для проверки состояний и методы контроля остатка для арифметических операций.

Особенностью этих процессоров является блок R-unit, сохраняющий архитектурное состояние после выполнения команд. При обнаружении ошибки система восстанавливает последнее корректное состояние или переключается на резервное ядро. Также применяется скрабирование памяти – периодическая проверка и коррекция данных для предотвращения накопления ошибок.

Испытания Power6 под нейтронным облучением показали, что 99,8% сбоев были исправлены без остановки программы, 0,19% потребовали перезапуска, и лишь 0,01% привели к потере данных, что соответствует одному сбою в 1000 лет.

Таким образом, современные методы защиты позволяют значительно снизить влияние одиночных сбоев, обеспечивая высокую надежность электронных систем [2].

Повышение стойкости к воздействию ТЗЧ устройств на базе ПЛИС с использованием инструмента Synplify Premier

В настоящее время программируемые логические интегральные схемы.

(ПЛИС) получили широкое распространение в ряде областей, в особенности характеризующихся относительно небольшими объемами партий и высокой специализацией изделий с точки зрения их функциональности. Среди преимуществ ПЛИС для таких применений – возможность разработки специализированных устройств обработки данных и цифрового управления в значительно более короткие сроки и с меньшими затратами, чем в случае создания заказных ИС. Одной из сфер, в которых активно применяются ПЛИС, является космиче-

ская аппаратура – область, предъявляющая особые требования к компонентам, в том числе в отношении радиационной стойкости.

ПЛИС традиционно используются для построения критически важных функциональных узлов, таких как средства контроля и управления бортовыми системами сбора и обработки информации.

Это означает, что к устройствам на основе ПЛИС предъявляются повышенные требования в отношении устойчивости к отказам, вызываемым внешними воздействиями. Одним из основных таких воздействий в приложении к аппаратуре космического применения является влияние на электронную аппаратуру тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), приводящих к случайному возникновению индуцированного заряда в проводниках микроконтроллера и, как следствие, к образованию нежелательных коротких паразитных импульсов (glitch), которые могут быть в дальнейшем интерпретированы системой как полезные сигналы, что, в свою очередь, может вызывать сбои и даже выход системы из строя.

Непрекращающееся уменьшение геометрических размеров транзисторов на современных кристаллах, а также снижение напряжения питания ПЛИС приводят к тому, что влияние ТЗЧ на работоспособность бортовых систем неуклонно растет. Традиционно подобные проблемы решаются инженерами методом резервирования, которое может быть реализовано как в рамках отдельной ПЛИС, так и за счет дублирования 1 Компания Synopsys, старший инженер по применению. целых функциональных блоков в бортовой электронной системе. В первом случае разработчики модифицируют исходный RTL-код вручную, увеличивая количество блоков с одинаковой функцией и добавляя схемы контроля, позволяющие отследить корректность выполнения ими соответствующих операций. Во втором случае резервирование происходит на уровне аппаратуры, с физическим разделением однотипных блоков. Оба подхода имеют существенные недостатки: дополнительные временные затраты на разработку схемы резервирования и увеличение используемой площади ПЛИС в первом случае и существенное удорожание и увеличение массогабаритных параметров разрабатываемой аппаратуры – во втором[3].

Для улучшения характеристик создаваемых изделий и сокращения времени их разработки целесообразно применение специализированных инструментов автоматизации проектирования, учитывающих соответствующие требования к проектам.

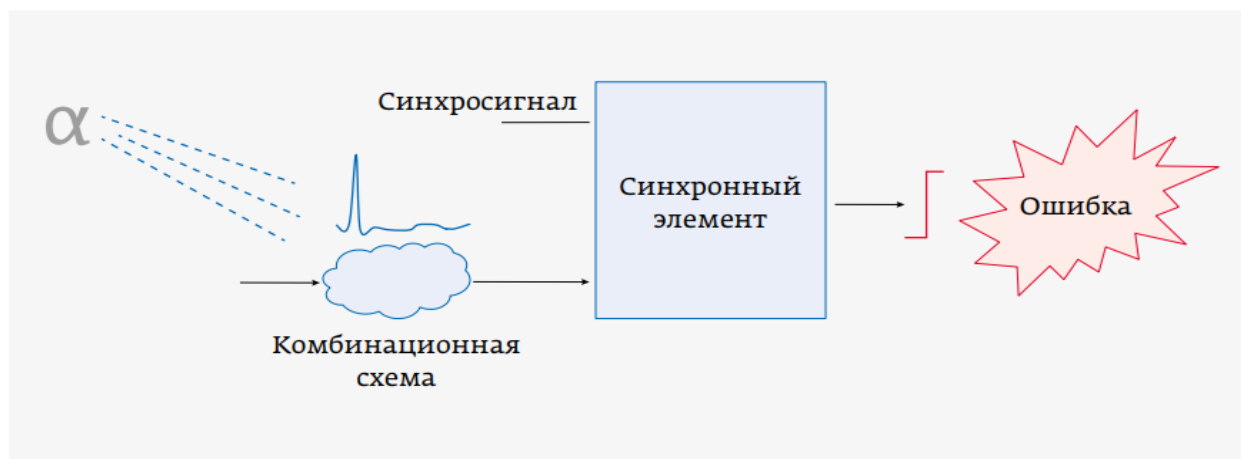


Рисунок 3 – Влияние ТЗЧ на электронное оборудование

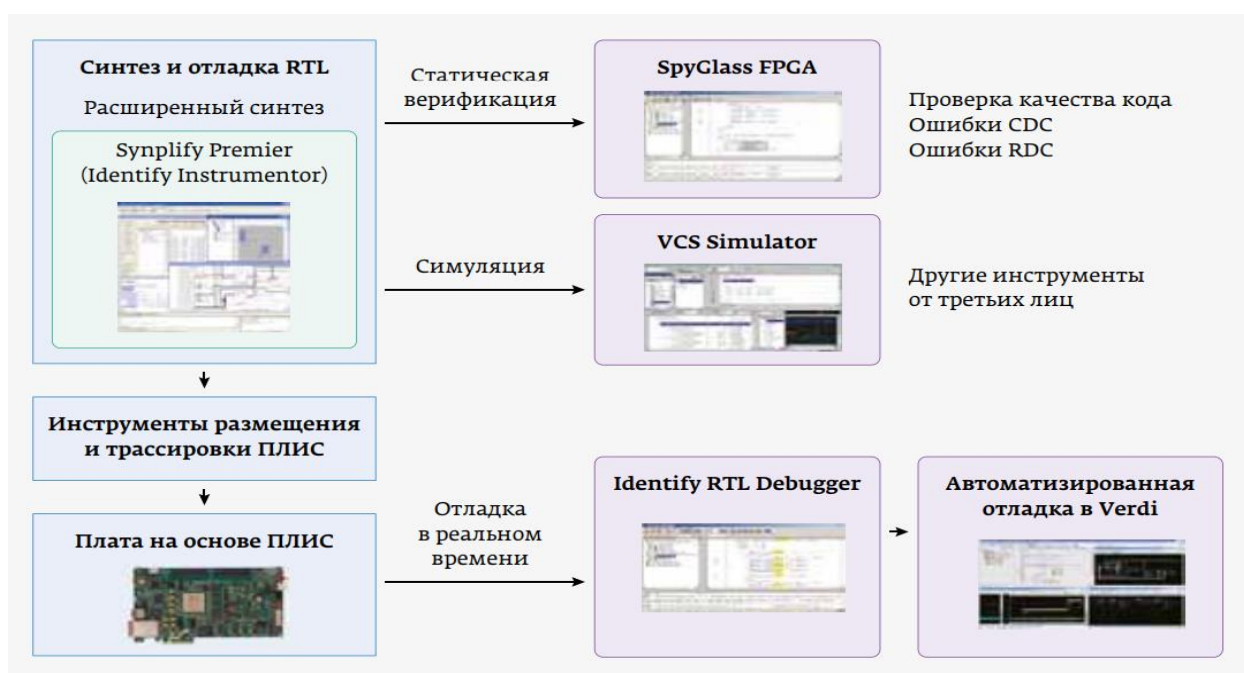


Рисунок 4 – Платформа Synply Premier и ее интеграция с другими инструментами для разработки проектов ПЛИС

Инструмент Synplify Premier от компании Synopsys широко известен среди инженеров, разрабатывающих проекты под ПЛИС различной архитектуры. Он обладает рядом преимуществ перед стандартными средствами автоматизированного проектирования, предоставляемыми компаниями – производителями ПЛИС. В частности, за счет использования улучшенного алгоритма синтеза (Placement-Aware Logic Synthesis – логический синтез с учетом размещения), доступного в Synplify Premier, можно добиться лучших показателей по занимаемой площади и быстродействию разрабатываемого устройства. Кроме того, данный инструмент имеет нативную интеграцию с платформой статической ве-

рификации SpyGlass, симулятором VCS и графической средой отладки Verdi, что существенно ускоряет процесс разработки, отладки и интеграции устройства, выполненного на базе ПЛИС. В системы, которые предполагается использовать в условиях воздействия ТЗЧ, инструмент Synplify Premier позволяет автоматически внедрять специальные механизмы, повышающие их устойчивость к данному воздействию. Речь идет об алгоритмах троирования, схемах детектирования и исправления единичных сбоев в работе аппаратуры, а также о механизмах защиты конечных автоматов от случайных сбоев. Далее в статье будут рассмотрены все указанные выше способы защиты, и для ПЛИС каждого типа будет выбран наиболее оптимальный вариант защиты проекта от воздействия ТЗЧ. На рынке представлено большое количество ПЛИС различных типов: многократно программируемые ПЛИС на основе SRAM, однократно программируемые ПЛИС (Antifuse), ПЛИС на основе флеш-памяти. Разработчики при построении аппаратуры выбирают тип ПЛИС на основе таких параметров как емкость, скорость, стоимость и встроенные системы защиты от помех. В дальнейшем для каждого типа ПЛИС применяются различные алгоритмы повышения устойчивости к ТЗЧ, связанные с конкретной технологией их реализации. Эти алгоритмы могут оказывать существенное влияние на площадь и временные характеристики устройства. Таким образом, перед разработчиком стоит задача определить, какой именно алгоритм защиты стоит применить к проекту на ПЛИС определенного типа для достижения оптимального быстродействия и устойчивости к помехам. Существующие технологии повышения устойчивости схем к ТЗЧ можно разделить по видам функциональных блоков, к которым они применимы:

1. Комбинационные схемы и секвенциальная логика.
2. Конечные автоматы.
3. Память RAM.

Ниже рассмотрены основные технологии, доступные в инструменте Synplify Premier для каждого вида функциональных блоков, реализованных в ПЛИС различных типов[4].

Современные микроконтроллеры и БИС с высокой степенью интеграции чрезвычайно чувствительны к воздействию тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) космического пространства. Попадание даже одной частицы в чувствительный объем может вызвать одиночные сбои и критические отказы в работе оборудования.

Таблица 1. Сравнение типов ПЛИС

	ПЛИС на основе SRAM	ПЛИС на основе флеш-памяти	ПЛИС типа Antifuse
Элемент хранения	SRAM-ячейка	Ячейка с плавающим затвором	Металлическое соединение
Реконфигурация	Быстрая, неограниченная, динамическая	Медленная, ограниченная, при выключении	Невозможна
Плотность	Высокая	Средняя	Средняя
Устойчивость к воздействию ТЗЧ	Низкая	Средняя, элемент хранения не подвержен влиянию ТЗЧ	Высокая, элемент хранения не подвержен влиянию ТЗЧ

Рисунок 5 – Сравнение типов ПЛИС

Задача прогнозирования частоты сбоев осложняется широким энергетическим спектром ТЗЧ, изотропным характером их распределения и многообразием механизмов взаимодействия с веществом, включая прямую ионизацию и ядерные реакции.

Основной механизм нарушения работы микросхем связан с генерацией электронно-дырочных пар в чувствительных областях (преимущественно в ОПЗ р-п-переходов), что приводит к появлению паразитных импульсов тока и изменению состояния ячеек памяти.

Современные САПР, такие как Synplify Premier, позволяют автоматизировать процесс внедрения механизмов защиты:

- алгоритмы троирования комбинационных схем;
- защита конечных автоматов от случайных сбоев;
- механизмы обнаружения и исправления ошибок в RAM;

Эффективность современных решений. Передовые разработки (например, процессоры IBM Power6 и Z10) демонстрируют исключительную надежность - 99,8% сбоев исправляются без остановки программы, что соответствует вероятности потери данных менее 0,01% (один сбой в 1000 лет).

Необходимость комплексного подхода. Обеспечение радиационной стойкости требует сочетания технологических, схемотехнических и архитектурных решений, адаптированных к конкретному типу ПЛИС и условиям эксплуатации.

Таким образом, несмотря на возрастающие challenges, связанные с миниатюризацией элементов, современные методы защиты позволяют создавать микроконтроллеры и ПЛИС с достаточным уровнем надежности для применения в космической технике и других критически важных системах [5].

Список литературы

1. Зольников, К.В. Моделирование воздействия ТЗЧ в активных областях элементов микросхем при проектировании / К.В.Зольников.
2. Зольников К.В. Моделирование радиационных эффектов на физико-технологическом уровне в САПР ИЭТ / К.В.Зольников, В.А.Скляр, А.А.Стойанов, К.И.Таперо, А.И.Озеров // Моделирование систем и процессов. - 2012. - № 4. - С. 92-97.
3. Зольников, К.В. Модель радиационных эффектов воздействия тяжелых заряженных частиц в КМОП-элементах микросхем .
4. Зольников, К.В. Проблемы моделирования воздействия космического излучения на элементную базу / К.В.Зольников, В.А.Скляр,
5. Зольников, К.В. Проектирование радиационно-стойких микросхем / К.В.Зольников // Материалы международной конференции «Системные проблемы надежности, качества, компьютерного моделирования, кибернетических, информационных и телекоммуникационных технологий в инновационных проектах». - 2013. -Часть 1. - С.51 - 52.

References

1. Zolnikov, K.V. Modeling the effects of PMT in the active regions of microcircuit elements during design / K.V.Zolnikov.
2. Zolnikov K.V., Sklyar V.A., Stoyanov A.A., Tapero K.I., Ozerov A.I. Modeling of radiation effects at the physico-technological level in CAD and IT / K.V.Zolnikov, Sklyar V.A., Stoyanov A.A., Tapero K.I., Ozerov A.I. // Modeling of systems and processes. - 2012. - No. 4. - pp. 92-97.
3. Zolnikov, K.V. Model of radiation effects of exposure to heavy charged particles in CMOS elements of microcircuits .
4. Zolnikov, K.V. Problems of modeling the effects of cosmic radiation on the element base / K.V.Zolnikov, V.A.Sklyar,
5. Zolnikov, K.V. Design of radiation-resistant microcircuits / K.V.Zolnikov // Proceedings of the international conference "Systemic problems of reliability, quality, computer modeling, cybernetic, information and telecommunication technologies in innovative projects". - 2013. - Part 1. - pp.51-52.

ЗАЩИТА ОТ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАРУБЕЖНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

А.В. Шпинев, А.Н. Потапов

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

Аннотация: С расширением космической деятельности и увеличением сложности миссий на первый план выходит задача обеспечения бесперебойной работы бортовой электроники в условиях агрессивной радиационной среды космоса. Зарубежные производители микроэлектроники, обладая развитой технологической базой и многолетним опытом, предлагают ряд специализированных решений – радиационно-стойких микроконтроллеров, способных выдерживать воздействие ионизирующего излучения, тяжелых заряженных частиц и одиночных сбоев.

Цель данной статьи – провести обзор ключевых зарубежных микроконтроллеров, предназначенных для работы в космическом пространстве, проанализировать их архитектурные особенности, радиационные характеристики и области применения. Отдельное внимание уделяется сравнению подходов к обеспечению радиационной стойкости у ведущих зарубежных компаний и их отечественных аналогов, что позволяет выявить конкурентные преимущества и потенциальные точки роста для национальной микроэлектроники.

Ключевые слова: зарубежные микроконтроллеры, радиационная стойкость, космическое излучение, Rad-Hard электроника, отказоустойчивость, ионизирующее излучение, Single Event Latchup (SEL), Total Ionizing Dose (TID), обзор микроконтроллеров.

PROTECTION FROM COSMIC RADIATION IN FOREIGN MICROCONTROLLERS

A.V. Spinev, A.N. Potapov

Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov

Abstract. With the expansion of space activities and the increasing complexity of missions, the task of ensuring the smooth operation of on-board electronics in the aggressive radiation environment of space is coming to the fore. Foreign microelectronics manufacturers, with a well-developed technological base and many years of experience, offer a number of specialized solutions - radiation-resistant microcontrollers capable of withstanding ionizing radiation, heavy charged particles and single failures.

The purpose of this article is to review the key foreign microcontrollers designed to operate in outer space, to analyze their architectural features, radiation characteristics and applications. Special attention is paid to comparing approaches to radiation resistance from leading foreign companies and their domestic counterparts, which makes it possible to identify competitive advantages and potential growth points for the national microelectronics industry.

Keywords: foreign microcontrollers, radiation resistance, cosmic radiation, Rad-Hard electronics, fault tolerance, ionizing radiation, Single Event Latchup (SEL), Total Ionizing Dose (TID), microcontroller overview.

Существующие зарубежные микроконтроллеры.

Микроконтроллер Microchip ATmegaS64M1 AVR обеспечивает улучшенную защиту от излучения, расширенный температурный диапазон и повышенную надежность для космических и аэрокосмических применений.



Рисунок 1 – микроконтроллер ATmegaS64M1

Недавно компания Microchip представила свой новый радиационно-стойкий микроконтроллер ATmegaS64M1. Этот MCU (микроконтроллер) предлагается в двух типах корпусов (см. рисунок ниже). Один из корпусов, предназначенный для применения в аэрокосмической промышленности, представляет собой тонкий четырехгранный плоский пластиковый корпус с 32 выводами (TQFP). Другой тип упаковки – рекламируемая радиационно-стойкая упаковка,

предназначенная для использования в космической среде, – герметична и поставляется в четырехслойной керамической упаковке с 32 выводами (CQFP).

ATmegaS64M1 – это радиационно-стойкая версия популярного 8-разрядного AVR-микроконтроллера Microchip ATmega64M1.

Этот высокопроизводительный 8-разрядный микроконтроллер на базе AVR RISC с низким энергопотреблением сочетает в себе 64 КБАЙТ флэш-памяти ISP с возможностью чтения во время записи, 2 КБАЙТ EEPROM, 4 КБАЙТ SRAM, 27 линий ввода-вывода общего назначения, 32 рабочих регистра общего назначения, один регулятор мощности двигателя, два гибких таймера /счетчики с режимами сравнения и ШИМ, один UART с HW LIN, 11-канальный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь с двумя входными каскадами дифференциального программируемого усиления, 10-разрядный цифроаналоговый преобразователь, программируемый сторожевой таймер со встроенным индивидуальным генератором, последовательный порт SPI, система отладки на кристалле, и четыре программно выбираемых режима энергосбережения.

Благодаря выполнению мощных команд за один такт устройство достигает производительности, приближающейся к 1 МБИТ/с на МГц, что позволяет сбалансировать энергопотребление и скорость обработки. Микроконтроллер ATmegaS64M1 с контроллером CAN, контроллером каскада питания, АЦП, ЦАП и аналоговыми компараторами является отличным выбором для многих наиболее распространенных космических приложений, которые обычно требуют небольших габаритов и низкой мощности. Устройство работает в диапазоне 3-3,6 вольт.

Эта версия продукта, предназначенная для использования в помещениях, включает в себя керамическую и герметичную упаковки, расширенный диапазон температур - от 55 до 125 °С, увеличенный расход, эквивалентный классу QML-V или QML-Q space. Радиационные характеристики ATmegaS64M1: SEL LET > 60 МэВ/см²/мг (при 125°С) и TID до 30 Крад (Si)[1].

К числу лучших продуктов VORAGO, предназначенных для применения в космосе, относятся следующие.

Микроконтроллер VA41630 (производительность M4): VA41630 - это защищенный от радиации микроконтроллер Arm® Cortex®-M4, обеспечивающий высокопроизводительную обработку данных с интегрированными отказоустойчивыми функциями. Разработанный специально для обеспечения надежности космического уровня, он поддерживает передовые системы управления, авио-

нику и критически важные вычислительные системы, где важна устойчивость к воздействию агрессивных радиационных сред.



Рисунок 2 – микроконтроллер VA41630

Микроконтроллер VA10805 (маломощный M0): Микроконтроллер VA10805 – это микроконтроллер Arm® Cortex®-M0 космического класса, защищенный от радиации, разработанный для маломощных и высоконадежных приложений, таких как спутниковые подсистемы, системы управления полезной нагрузкой и телеметрии. Он обеспечивает исключительную энергоэффективность и при этом выдерживает экстремальные радиационные условия[2].

Gaisler

GR740 - защищенный от радиации четырехъядерный микропроцессор LEON4FT, часто используемый в одноплатных компьютерах для космических полетов.



Рисунок 3 – микроконтроллер GR740

Устройство GR740 представляет собой радиационно-стойкую систему на кристалле, оснащенную четырехъядерным отказоустойчивым процессором LEON4 SPARC V8, восьмипортовым маршрутизатором SpaceWire, интерфей-

сом инициатора/получателя PCI, интерфейсами CAN 2.0 и интерфейсами Ethernet 10/100/1000 Мбит.

GR740 был разработан Европейским космическим агентством как микропроцессор нового поколения (NGMP).

Основные технические характеристики:

1. Отказоустойчивый четырехъядерный целочисленный модуль LEON4 SPARC V8 с 7-ступенчатым конвейером, 8 окнами регистров, инструкциями размером 4x4 КБ и кэшами данных размером 4x4 КБ.
2. Модули с плавающей запятой двойной точности IEEE-754.
3. Кэш-память 2-го уровня объемом 2 МБ.
4. 64-разрядный интерфейс PC100 SDRAM с интерфейсом Reed-Solomon.
5. EDAC8/16-разрядный интерфейс PROM/ввода-вывода с EDAC в 8-разрядном режиме PROM.
6. Маршрутизатор SpaceWire с восемью каналами SpaceWire.
7. 2 интерфейса Ethernet 10/100/1000 Мбит/с.
8. Интерфейс инициатора/получателя PCI.
9. Интерфейс MIL-STD-1553B.
10. 2 интерфейса контроллера CAN 2.0.
11. 2x UART, SPI, таймеры и сторожевой таймер, 16+ 22-контактный GPIO.
12. Блоки управления процессором и памятью ввода-вывода.
13. Многопроцессорный контроллер прерываний с поддержкой асимметричной и симметричной многопроцессорной обработки.
14. Контроллер SpaceWire TDP и поддержка синхронизации по времени.

GR716B - Защищенный от радиации микроконтроллер с отказоустойчивым процессором LEON3FT SPARC V8.

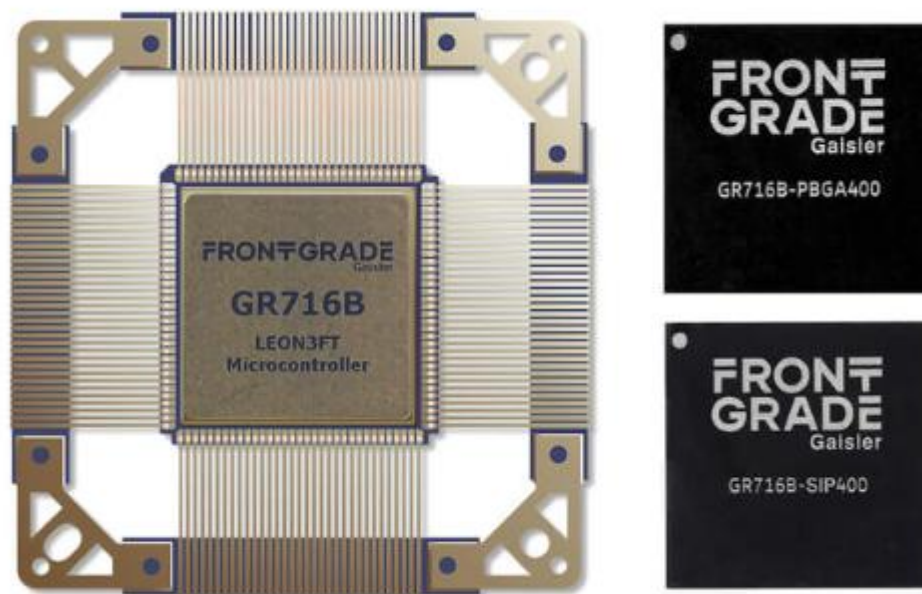


Рисунок 4 – микроконтроллер GR716B

GR716B – это защищенный от радиации микроконтроллер, оснащенный отказоустойчивым процессором LEON3 SPARC V8. Основанный на конструкции GR716A, GR716B был разработан для обеспечения более высокой вычислительной производительности и отличных коммуникационных интерфейсов.

GR716B основан на процессоре LEON3FT и двух ускорителях реального времени (RTA). Он оснащен встроенной оперативной памятью объемом 192 КБАЙТ, а также отказоустойчивыми контроллерами памяти, обеспечивающими доступ к памяти вне чипа.

Список интерфейсов ввода-вывода включает маршрутизатор SpaceWire, Ethernet, MIL-STD-1553B, CAN, PacketWire, программируемый ШИМ-интерфейс, SPI с протоколами SPI-for-Space, UART, I2C, GPIO.

Аналоговые функции включают в себя радиационно-стойкие сердечники, такие как ЦАП и АЦП, аналоговые компараторы, прецизионный источник опорного напряжения, PLL и все активные компоненты кварцевого генератора (XO).

С системной точки зрения, GR716B обеспечивает возможность определения напряжения в сети для корректировки встроенного регулятора напряжения для приложений с низким энергопотреблением. LEON3 обеспечивает выполнение команд в течение одного цикла и выборку данных из тесно связанной памя-

ти. Детерминированность выполнения обеспечивается детерминированным временем выполнения команд и фиксированной задержкой прерывания.

Отказоустойчивый процессор LEON3FT SPARC версии 8.

Расширение LEON-REX с 16-разрядными инструкциями: улучшенная плотность кода.

Конвейерный модуль с плавающей запятой двойной точности IEEE-754.

Блоки защиты памяти.

Детерминированное выполнение программного обеспечения: несколько ненавязчивых шин, фиксированная задержка прерывания, архитектура без использования кэша.

2-кратный ускоритель реального времени (RTA).

Позволяет разгрузить основную часть LEON3 от сложных задач реального времени.

Встроенная оперативная память объемом 192 КБАЙТ (защищена EDAC).

Внешняя 8-разрядная память PROM/SRAM с защитой EDAC.

SPI-память защищена EDAC и резервированием двойной памяти.

Супервизор ПЛИС для программирования и очистки Xilinx Virtex5 и Kintex UltraScale.

Программируемый ШИМ-интерфейс с аналогово-цифровым регулированием напряжения и поддержкой контура управления двигателем.

Встроенное загрузочное ПЗУ для низкоуровневой инициализации и дополнительного самотестирования, ожидания и загрузки приложений.

Поддержка удаленной загрузки через SpaceWire RMAP, CANopen, SPI slave, UART

Контроллеры DMA с поддержкой команд if-else.

Таймеры со сторожевым таймером

Интерфейсы:

- 2-портовый маршрутизатор SpaceWire с поддержкой временного распределения;
- LVDS с расширенной поддержкой синфазного режима, холодного резервирования и отказоустойчивости;
- Ethernet 10/100 Мбит/с;
- интерфейс MIL-STD-1553B;
- интерфейс контроллера CAN FD с поддержкой CANopen для удаленной загрузки;

- PacketWire с поддержкой CRC-ускорения;
- программируемый усовершенствованный ШИМ с поддержкой аналого-цифрового контура управления напряжением;
- SPI с протоколами SPI-for-Space;
- UARTs, I2C, GPIO;
- комбинированные входы и выходы общего назначения.

Встроенные аналоговые функции:

- 4-кратный АЦП: разрешение 11 бит, 4 различных или 8 отдельных каналов;
- 4xDAC: 12 бит, 3 Мбит/с, генерация цифрового сигнала со скоростью нарастания до 25 МС/с;
- 8-кратный ЦАП: 24-разрядный $\Delta\Sigma$, частота до 25 МГц;
- 20-кратный быстродействующий аналоговый компаратор;
- PLL;
- кварцевый генератор с внешним XTAL;
- высокоточный эталонный выход 1,9 В;
- датчики напряжения 1,8 В и 3,3 В;
- приемопередатчики LVDS;
- датчик температуры.

Поддержка памяти:

- Встроенная оперативная память с защитой EDAC емкостью 192 Кбайт.
- Встроенное ПЗУ с загрузчиком для инициализации и удаленного доступа.
- Выделенный интерфейс памяти SPI с возможностью загрузки ПЗУ.
- 8-разрядный интерфейс ввода-вывода SRAM/ROM с поддержкой до 16 Мб ПЗУ и 32 мб SRAM.
- Очиститель с программируемой скоростью очистки для всех встроенных и внешних модулей памяти PROM/SRAM и SPI.
- Резервная загрузочная память (PROM/SRAM/SPI/NVRAM).
- Контейнер прикладного программного обеспечения для проверки целостности программного обеспечения с помощью CRC.
- Загрузка из внутренней памяти SRAM, внешней памяти PROM/FLASH/SRAM/SPI [3].

Сравнение отечественных и зарубежных микроконтроллеров.

Преимущества отечественных производителей.

Несомненным преимуществом для покупателей является локализация производства, которая снижает зависимость от внешних поставок. Российские предприятия, включая АО «НИИПП», «Группа Кремний Эл» и «ДжиЭс-Нанотех», обеспечивают полный цикл корпусирования микросхем внутри страны. Стратегия сокращает логистические издержки и минимизирует риски срывов поставок из-за санкций. В 2023 году «Микрон» наладил выпуск чипов для банковских карт, полностью отказавшись от импортных аналогов, что только подтверждает потенциал локальных мощностей.

Дополнительно усиливает развитие отрасли государственная поддержка. Налоговые льготы для дизайн-центров предполагают дальнейшее снижение страховых взносов и налога на прибыль. Программа Минпромторга до 2024 года выделила 3.6 миллиарда долларов на строительство фабрик с техпроцессом 28 нм. Дополнительные субсидии покрывают до 50% затрат на НИОКР для компаний, разрабатывающих отечественные аналоги импортных компонентов. Меры создают основу для технологического рывка.

Отечественные производители фокусируются на специфических потребностях рынка, где глобальные игроки менее активны. Разработанные для применения в оборонной промышленности и космической отрасли, микросхемы обладают устойчивостью к радиации, выдерживают резкие перепады температур и полностью отвечают требованиям безопасности. Например:

Процессоры «Эльбрус» и «Байкал» используют в системах управления критической инфраструктурой.

Радиационно-защищенные чипы от «НИИПП» применяют в спутниках серии «Глонасс».

Российские предприятия выпускают ограниченные партии компонентов под индивидуальные заказы, что на данный момент недоступно крупным зарубежным производителям.

Таким образом, гибкость производства становится конкурентным преимуществом. В отличие от глобальных корпораций, выпускающих стандартизованную продукцию, российские компании адаптируют решения под узкие задачи. Малые предприятия активно сотрудничают с научными институтами, создавая специализированные микросхемы, включая СВЧ-компоненты для радиолокационных систем. Подобный подход позволяет закрывать ниши, кото-

рые остаются вне зоны влияния международных гигантов и выйти из периферии внимания как потребителей, так и многих заказчиков.

Недостатки отечественных производителей.

Российские микросхемы надежны, их можно использовать в экстремальных условиях, но их производство все еще сталкивается с трудностями, которые мешают выйти на уровень глобальной конкуренции.

Основные мощности российских заводов работают на устаревших технологиях. И пока мировые лидеры выпускают микросхемы с элементами размером 5-7 нанометров, отечественные предприятия в основном используют нормы 90-130 нанометров. Такое отставание создает значительные препятствия для создания компактных и энергоэффективных решений, необходимых для современных спутников и систем вооружения.

И даже в стратегических проектах производители не могут полностью отказаться от зарубежных компонентов. Кремниевые подложки для радиационно-стойких микросхем, а также оборудование для их производства и иные критически важные материалы до сих пор закупают за границей. Санкции увеличивают сроки поставок и повышают себестоимость, что срывает планы по выполнению государственных заказов.

Кроме того, отрасль остро испытывает дефицит специалистов. Молодые инженеры чаще выбирают IT-сферу или уезжают работать за рубеж, в итоге предприятия остаются без достаточного числа квалифицированных кадров. Разработка перспективных технологий вроде микропроцессоров для автономных систем на базе искусственного интеллекта замедляется.

Объемы вложений в исследования и разработки остаются низкими. Российские компании тратят на R&D около 8% выручки, тогда как зарубежные конкуренты инвестируют 15-20%. Нехватка средств увеличивает сроки внедрения новых решений и, соответственно, ограничивает их совместимость с современным программным обеспечением.

Преимущества зарубежных производителей.

Ограничения российских производителей ярче высвечивают сильные стороны зарубежных компаний, которые десятилетиями формировали экосистему, позволяющую доминировать на рынке микроэлектроники.

Ведущие зарубежные производители вроде TSMC, Intel и Samsung, ежегодно сокращают размер транзисторов и доводят их до рекордных 3-2 нм. Итог таких разработок – микросхемы с рекордной производительностью и минимальным энергопотреблением. Именно эти чипы стали основой для искусст-

венного интеллекта в системах спутниковой навигации и автономного вооружения.

Кроме того, иностранные компании контролируют все этапы создания продукции – от разработки до массового выпуска. Они опираются на сеть специализированных поставщиков (ASML для литографии, Applied Materials для материалов) и у них есть собственные логистические хабы, обеспечивающие бесперебойные поставки даже в условиях кризисов.

Ежегодные бюджеты на R&D у лидеров рынка превышают \$10 млрд (TSMC – \$11 млрд, Intel – \$20 млрд по данным на 2023 год), и это позволяет им привлекать лучших инженеров и быстро внедрять прорывные технологии. Например:

NVIDIA использует гибридные архитектуры для военных нейросетей; европейские стартапы создают радиационно-стойкие чипы для лунных миссий за 2-3 года.

Недостатки зарубежных производителей.

Доминирование зарубежных производителей на рынке микроэлектроники не отменяет их уязвимостей, которые становятся очевидными в условиях глобальных кризисов и меняющихся политических реалий.

Конфликты между крупными игроками, например, США и Китаем, напрямую влияют на отрасль. В 2023 году ограничения на экспорт высокотехнологичного оборудования в КНР привели к приостановке строительства заводов TSMC в провинции Цзянсу, что нарушило планы по выпуску чипов для электромобилей и телекоммуникационных систем.

Другой момент – даже лидеры рынка не могут полностью контролировать поставки критически важных ресурсов. Более 60% редкоземельных металлов для производства микросхем добывается в Китае, а переработка сосредоточена в Малайзии. Сбои в этих регионах, как это произошло во время пандемии, парализуют заводы в Европе и США.

Основное различие между отечественными и зарубежными микроконтроллерами с защитой от космического излучения заключается в их конструкторских подходах, технологиях производства и технических характеристиках применения. Отечественные решения ориентированы на максимальную надежность для оборонной и космической промышленности, в то время как зарубежные решения (хотя и имеют аналогичные решения) часто используются в более широком спектре промышленных и коммерческих применений.

Технологии и подходы к защите.

Радиационно-стойкая конструкция (по технологии Radhart). Отечественные компании, такие как Миландер и НИИЭТ, используют специальные технологические процессы с использованием специальных материалов и конструкторских решений (например, технология кремний-на-изоляторе) для повышения радиационной стойкости на уровне самого полупроводникового кристалла. Зарубежные производители (например, BAE Systems, Texas Instruments) также предлагают аналогичные решения, но они могут быть более дорогими и не всегда доступны для покупки.

Резервирование цепи (по проекту Радхарта). Многие иностранные компании, включая VORAGO Technologies, используют резервирование на уровне схемотехники, такое как тройное модульное резервирование (TMR), для обеспечения работоспособности даже в случае единичных отказов. Такой подход также активно используется в отечественных разработках, но чаще в сочетании с радиационно-стойким технологическим процессом.

Сопrotивление блокировке тиристора (SEL). RFC могут вызывать блокировку тиристора в КМОП-схемах, что приводит к короткому замыканию и выходу из строя микросхемы. Отечественные микроконтроллеры часто используют технологические и схемотехнические методы для предотвращения этого эффекта.

Назначение и область применения.

Оборонная и космическая промышленность. Отечественные микроконтроллеры с радиочастотной защитой в первую очередь предназначены для использования в космических кораблях, военной технике и ядерной энергетике, где надежность является критическим фактором.

Широкий спектр применения. Зарубежные радиационно-стойкие микрочипы также активно используются в космической и военной сферах, но наличие коммерческих решений позволяет использовать их в более широком спектре промышленных задач.

Возможности проектирования и обеспечения доступности. Закрытая архитектура. Отечественные микроконтроллеры часто имеют особую закрытую архитектуру, которая может затруднить настройку программного обеспечения, но обеспечивает высокий уровень безопасности и контроля.

Открытая архитектура. Иностранные микроконтроллеры часто используют открытые архитектуры, такие как ARM, что упрощает разработку программного обеспечения, но может вызвать проблемы с обеспечением информационной безопасности.

Сложность импорта. Отечественные производители имеют полный контроль над производственной цепочкой и цепочкой поставок, что гарантирует независимость от внешних факторов. Использование иностранных микроконтроллеров может быть ограничено санкциями или другими геополитическими факторами [4].

Список литературы

1. Gaisler. Rad-Hard Microcontrollers – URL: <https://www.gaisler.com/secondary-product-category/rad-hard-microcontrollers>.
2. Vorago Technologies. ARM Cortex-M4 Microcontrollers. – URL: <https://www.voragotech.com/products/microcontrollers/arm-cortex-m4-family/va41630>.
3. Microchip. ATmegaS64M1 Microcontroller. – URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmegas64m1>.
4. Сравнение отечественных и зарубежных производителей радиоэлектронных компонентов // EICOM. – 2023. – URL: <https://eicom.ru/news/sravnenie-otechestvennyh-i-zarubezhnyh-proizvoditeley-radioelektronnyh-komponentov>.

References

1. Gaisler. Rad-Hard Microcontrollers. – URL: <https://www.gaisler.com/secondary-product-category/rad-hard-microcontrollers>.
2. Vorago Technologies. ARM Cortex-M4 Microcontrollers. – URL: <https://www.voragotech.com/products/microcontrollers/arm-cortex-m4-family/va41630>.
3. Microchip. ATmegaS64M1 Microcontroller. – URL: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmegas64m1>.
4. Comparison of domestic and foreign manufacturers of radio electronic components // EICOM. – 2023. – URL: <https://eicom.ru/news/sravnenie-otechestvennyh-i-zarubezhnyh-proizvoditeley-radioelektronnyh-komponentov>.

ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЯХ. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ СТОЙКИХ К РАДИАЦИИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

А.В. Шпинев, А.Н. Потапов

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

Аннотация: 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.

Цель данной статьи – систематизировать виды радиационных воздействий в космическом пространстве и провести обзор российских производителей и разработчиков специализированных микроконтроллеров, устойчивых к экстремальным факторам космической среды. Особое внимание уделяется техническим характеристикам, применяемым технологиям и перспективным разработкам в данной области.

Ключевые слова: космическая радиация, радиационная стойкость, микроконтроллер, электронное оборудование, ионизирующее излучение, отечественная микроэлектроника, космический аппарат, отказоустойчивость.

TYPES OF EFFECTS ON ELECTRONIC EQUIPMENT IN SPACECRAFT. DOMESTIC MANUFACTURERS OF RADIATION-RESISTANT MICROCONTROLLERS

A.V. Spinev, A.N. Potapov

Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov

Abstract. As the boundaries of space exploration expand and the duration of missions increases, the task of ensuring the reliability and durability of electronic equipment operating in outer space becomes critically important. The key threat to on-board electronics is ionizing radiation, which can cause malfunctions and irreversible damage to microcircuits. In this regard, the development and production of radiation-resistant microcontrollers is becoming a strategic direction for domestic and global space exploration.

The purpose of this article is to systematize the types of radiation effects in outer space and to review Russian manufacturers and developers of specialized microcontrollers that are resistant to extreme factors of the space environment. Special attention is paid to technical characteristics, applied technologies and promising developments in this field.

Keywords: cosmic radiation, radiation resistance, microcontroller, electronic equipment, ionizing radiation, domestic microelectronics, spacecraft, fault tolerance.

Виды воздействия на электронное оборудование в космических кораблях

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.



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 развертывания, и максимальная опасность на период максимума солнечной активности, включая фазу спада и роста.

Воздействие на орбите МКС: обычно << 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 10^3 МэВ/нукл, есть анизотропия[1].

Радиация на Земле и в космосе.

Таблица 1 – Количество излучения в различных местоположениях

Место расположение и период экспонирования	H, 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

Отечественное производство микроконтроллеров

Среди отечественных производств микроэлектроники можно отметить крупнейшие Зеленоградский завод «Микрон», «Ангстрем» (и «Ангстрем-Т»), Зеленоград, НИИ системных исследований РАН, Москва, «Интеграл», Минск.

Также стоит отметить разработчиков микроэлектроники: «Миландр», Зеленоград; НПЦ «Элвис», Зеленоград; НИИСИ РАН, Москва; НТЦ «Модуль»,

Москва; НИИМА «Прогресс»; Москва; Дизайн-центр «Союз», Зеленоград; «Мультиклет», Екатеринбург; КТЦ «Электроника», ВЗПП-С, ВЗПП-Микрон, Воронеж; НИИЭТ, Воронеж.

Далее по порядку.

Зеленоградский завод «Микрон» заявляет на своем сайте наличие технологий:

1) 180 нм объемная технология с EEPROM – уже хорошо известная разработчикам технология, на которой работают практически все, кто имеет такую возможность. По ней же сделаны, например, чипы для билетов московского метро. Наличие EEPROM полезно для таких применений, как встраиваемые микроконтроллеры, нужные не только для космоса, но и для «гражданских» применений.

2) 250 нм кремний на изоляторе (КНИ) – по этой технологии уже ведутся отдельные разработки. Технология, представляет собой частичный порт 180 нм на пластины кремния на изоляторе. Дизайн-киты доступны разработчикам.

3) 180 нм КНИ – заявлена 2012-м годом, на практике о ней уже достаточно давно ничего нового не слышно. То есть она в разработке, но когда именно будет готова для проектирования – не очень понятно.

4) 90 нм объемная. Совсем недавно «Микрон» лицензировал у Cadence софт для физической верификации для этой технологии.

«Ангстрем» (и «Ангстрем-Т»), Зеленоград.

1) 1,2 мкм кремний на сапфире (КНС) – уже довольно старая технология, но она до сих пор востребована (военными заказчиками для микросхем с высокой радиационной стойкостью, для которых надежность и проверенность решений важна).

2) 0,6 мкм, объемный кремний, кремний на сапфире, кремний на изоляторе, возможность изготовления EEPROM, BiCMOS, IGBT.

3) «Создаваемые» технологии с проектными нормами 350-250 нм.

4) «Создаваемые» технологии с проектными нормами 130, 110 и 90 нм.

История «создания» технологий на «Ангстреме» долгая, трудная. Процесс и оборудование 130 нм были куплены у AMD, 90 нм – у IBM.

Практика показала невозможность изготовления радиационностойких схем на технологиях меньше 250 нм.

НИИ системных исследований РАН, Москва.

Фабрика НИИСИ РАН находится на территории Курчатовского института в Москве и обладает технологиями с проектными нормами 500, 350 и 250

нанометров на пластинах объемного кремния и КНИ. Изначально не предназначена для крупносерийного производства и позиционируется как «исследовательская фабрика Академии наук». Большинство производимых здесь микросхем разработаны самим НИИСИ, однако фабрика работает и с внешними заказчиками, например, с воронежским НИИЭТ, который производит здесь свои радиационностойкие микроконтроллеры.

«Интеграл», Минск.

Минский «Интеграл» считается нашими военными и прочими инстанциями отечественным предприятием со всеми вытекающими обстоятельствами.

Основные технологии «Интеграла» – старые, с проектными нормами 0,8 мкм и больше, однако в последние несколько лет белорусы самостоятельно спроектировали и запустили технологии 0,5 и 0,35 мкм на объемном кремнии и КНИ. У них всего три металла (что мало для микропроцессора), однако «Интеграл» разрабатывает на них микросхемы SRAM с емкостью 1 Мбит и высокой радиационной стойкостью, а также аналоговые микросхемы.

В докладах с научных конференций фигурируют также технологии 0,18 мкм и 0,5-0,25 мкм BiCMOS, флэш-память и FRAM.

Подавляющее большинство (если не все) разработок на своих технологиях «Интеграл» ведет самостоятельно.

«Миландр», Зеленоград.

ЗАО ПМК «Миландр», базирующийся в Зеленограде – компания с двадцатилетней историей и, что более важно для нас, с самым подробным среди всех российских микроэлектронных компаний сайтом.

Среди их продукции представлены:

1645PY2T – статическое ОЗУ (SRAM) емкостью 64 Кбит. В серийном производстве с 2008 года.

1645PY5Y – статическое ОЗУ (SRAM) емкостью 4 Мбит. ОКР заканчивается в 2014 году.

Судя по годам выпуска, первая микросхема выпускается на какой-то совсем старой технологии, вторая – 180 нм.

Также существуют радиационностойкие 8-битные микроконтроллеры 1886BE10 (аналог PIC17).

Технология – микроновские 180 нм, по радиостойкости полный фарш из кольцевых транзисторов и многотранзисторных запоминающих элементов. По предполагаемым данным, микросхема с такими методами защиты должна выдерживать ядерный взрыв, не то, что долговременный полет в космосе.

1645PT2У – однократно программируемое ПЗУ (antifuse) емкостью 256 кбит. ОКР сдан в 2013 г.

Проектные нормы – 680 нм.

5576PT1У – однократно программируемое ПЗУ (antifuse) емкостью 1 Мбит. ОКР сдан в 2013 г. Проектные нормы, скорее всего, 180 нм (технология «Микрона»).

Для других микросхем «Миландра» радиационная стойкость не заявлена, однако, можно найти такую строчку: «Обновлены параметры стойкости к спецфакторам для микросхемы 1310ПН1У (значительно улучшены)». 1310 – это индуктивный преобразователь питания, для которого радиационная стойкость не заявлена. Если все микросхемы, поставляемые с пятой приемкой, имеют хотя бы какую-то стойкость к радиации, то у «Миландра» есть еще довольно широкий набор микросхем интерфейсов, управления питанием и АЦП/ЦАП.

Перспективная разработка «Миландра» – их первый радиационностойкий и сбоеустойчивый микропроцессор. Он пока что не имеет собственного обозначения и презентуется на различных конференциях под именем «Обработка-13». Есть интересные и спорные решения, но выглядит впечатляюще.

Процессор – двухъядерный ARM Cortex-M4F с режимами раздельной работы ядер и аппаратным дублированием. Тактовая частота – 100 МГц, SRAM 32 кбайт, ПЗУ 128 кбайт, широкий набор интерфейсов и аналоговой периферии.

Производиться «Обработка-13» будет на немецкой фабрике XFAV.

НПЦ «Элвис», Зеленоград

«Элвис» в настоящее время активно продвигает собственную продукцию в космическую отрасль, активно сотрудничая с заводом «Микрон» в части технологии и с НИИ «Субмикрон» в части производства космической аппаратуры. Также «Элвис» участвует в международной рабочей группе по разработке стандарта передачи данных SpaceWige, на который в ближайшей перспективе переходит Европейское космическое агентство и, возможно, Роскосмос.

Пробная ласточка «Элвиса» в части аэрокосмических применений – микросхема памяти 1657PY1У (SRAM 4Мбит), изготовленная по зарубежной технологии 250 нм.

В параметрах радиационной стойкости можно найти вот что: «суммарная накопленная доза 330 крад, КТЗ 500 крад», а в параметрах, записанных в факторах согласно ГОСТ, цифра другая. Не известно какая именно цифра, потому что этот ГОСТ – секретный, в отличие от аналогичных стандартов американ-

ских. Кроме того, ходят слухи, что испытания первых микросхем проводились по каким-то специально обученным методикам, так что в том, что все работает действительно хорошо.

1892BM8Я – двухъядерный процессор с ядром общего назначения (совместимо с MIPS-32) и ядром цифровой обработки сигналов. Тактовая частота 80 МГц, 480 MFLOPs при вычислениях с плавающей точкой, широкий набор интерфейсов – итого достаточно серьезная машина получается. Технология, как и предыдущей схемы памяти, 250 нм КМОП (зарубежная).

Сейчас «Элвис» разрабатывает несколько аналогичных процессоров на микроновских технологиях 180 нм и 250 нм КНИ, но результаты еще не пошли в серию. Разрабатываемый комплект микросхем «Мультиборт», который был представлен на выставке «Новая электроника».

В комплекте обозначено более двадцати микросхем с годом начала выпуска вплоть до 2014-го: микропроцессоры, АЦП, контроллеры внешних устройств и коммутаторы, позволяющие полностью организовать сеть передачи данных на борту космического аппарата.

После отработки решений на зарубежных фабриках «Элвис» делает все перспективные микросхемы полностью в России на «Микроне» (проектные нормы 180 и 90 нм).

НИИСИ РАН, Москва.

НИИ системных исследований Российской академии наук (НИИСИ РАН) имеет самый большой опыт среди российских разработчиков процессоров для космоса (с 2001 года) и выпускает серию микропроцессоров с системой команд «КОМДИВ» (имеющей определенное сходство с MIPS32).

5890BE1T (КОМДИВ32-С) – 32-битный микропроцессор с встроенным интерфейсным контроллером, 33 МГц, технология 500 нм КНИ. Судя по открытым источникам, давно и успешно летает в системах управления космических аппаратов.

5890BM1T – 32-битный микропроцессор с повышенной стойкостью к одиночным сбоям. 33 МГц, 500 нм КНИ.

5890BG1T – двухканальный интерфейсный контроллер интерфейса MIL-STD-1553.

1900BM2T (Резерв-32) – 32-битный микропроцессор с аппаратным троированием на уровне составных частей ядра и защитой от одиночных сбоев. Тактовая частота 66 МГц, технология 350 нм.

Статическое ОЗУ (SRAM) 1 Мбит, время обращения 30 нс. Технология КНИ 350 нм.

Четыре процессора, указанных выше, производятся серийно, а на 2014 и 2015 год заявлено начала выпуска еще четырех процессоров.

1907BM014 – 32 бита, частота 100 МГц, технология 250 нм. На кристалле системный контроллер, SpaceWire, Ethernet и интерфейс MIL-STD-1553.

1907BM038 – 32 бита, частота 125 МГц, технология 250 нм. На кристалле интерфейсы SpaceWire и Serial RapidIO.

1907BM044 – 32 бита, 66 МГц, 250 нм, встроенный системный контроллер, троирование ядер и повышенная стойкость к одиночным сбоям, SpaceWire.

1907BM028 – 64 бита, 150 МГц, 250 нм, встроенный системный контроллер, два уровня кэш-памяти (у остальных – один), Serial RapidIO, Ethernet.

У всех процессоров НИИСИ, выполненных на технологии КНИ, стойкость к полной поглощенной дозе, достаточная для космических применений, отсутствует тиристорный эффект, а также применены (у всех, кроме 5890BE1T) специальные меры для повышения стойкости к одиночным сбоям (коды Хэминга в кэш-памяти, специальные ячейки SRAM, аппаратное троирование на уровне составных блоков ядра процессора).

Кроме того, у НИИСИ есть еще вот такой ОКР: «Разработка 128-разрядного высокопроизводительного микропроцессора на структурах КНС/КНИ 0,25 мкм, совместимого с архитектурой КОМДИВ, для систем цифровой обработки сигналов», шифр «Схема-10». То есть это уже не 32 или 64 бита, а целых 128. Работа начата в 2012-м году.

НТЦ «Модуль», Москва.

«Модуль» производит DSP процессоры с собственной оригинальной архитектурой и вычислительные модули на основе своих и чужих процессоров, в том числе для космических применений.

Главная собственная микросхема «Модуля» DSP Neuromatrix (Л1879BM1). Тактовая частота 40 МГц, технология 0,5 мкм (Samsung).

Микросборка 2605BG1T – логика и приемопередатчик интерфейса MIL-STD-1553 со встроенной памятью.

1895BA1T – логическая часть контроллера канала интерфейса MIL-STD-1553.

1879BA1T – интерфейсный контроллер для связи вычислительного процессора с интерфейсом MIL-STD-1553.

НИИМА «Прогресс», Москва.

НИИМА «Прогресс» является одним из головных разработчиков приемников и передатчиков ГЛОНАСС.

5512БП2Ф – система на кристалле с микропроцессорным ядром и базовым матричным кристаллом, программируемым под нужды пользователя. Технология 180 нм («Микрон»), рабочая частота процессора 150 МГц, арифметического сопроцессора 50 МГц. Процессорное ядро – «Кварк» компании КМ211.

«СБИС с МП ядром СнК Алмаз-9» – тот же самый набор периферии с другим ядром и на технологии КНИ 240 нм («Микрон») для повышения радиационной стойкости. Завершение ОКР в 2014 году.

Дизайн-центр «Союз», Зеленоград.

ДЦ «Союз» разрабатывает аналого-цифровые базовые матричные кристаллы на базе «микроновской» технологии КНИ 0,24 мкм. Завершение ОКР намечено на 2014 и 2015 год.

5400БК1Т, 5400БК2У – общего назначения. 110к цифровых вентилях, 50к «аналоговых» транзисторов, 56 ОУ, 56 компараторов, 6 АЦП, 6 ЦАП, источник напряжения и другие блоки.

5400ТР014 – прецизионный. 110к цифровых вентилях, 10к «аналоговых» транзисторов, 3- ОУ, 2 АЦП, 2 ЦАП, 2 УВХ, источник напряжения и т.д.

Базовый матричный кристалл – это микросхема из базовых ячеек без нескольких верхних слоев металлизации, при помощи которых ячейки можно соединить нужным заказчику образом. Этакий допотопный аналог ПЛИС. До сих пор востребованы, что характерно.

НПК «Технологический центр» МИЭТ, Зеленоград.

НПК «Технологический центр» МИЭТ работает с «Микроном» и имеет собственную фабрику с проектными нормами 1,5 мкм, на которой они успешно делают радиационностойкие микросхемы малой степени интеграции и базовые матричные кристаллы, а также полузаказные СБИС на основе этих БМК – контроллеры интерфейсов, внешних устройств, приемопередатчики и т.д.

«Мультиклет», Екатеринбург.

Уральская компания «Мультиклет», развивающая собственную оригинальную процессорную архитектуру, анонсировала выход в 2015-м году радиационностойкого четырехъядерного микропроцессора. Других подробностей пока нет, производство планируется за границей.

КТЦ «Электроника», ВЗПП-С, ВЗПП-Микрон, Воронеж.

Воронежские предприятия – осколки огромного некогда НПО «Электроника» и Воронежского завода полупроводниковых приборов (ВЗПП). Его от-

дельные части продолжают работать и сейчас, но разделить, кто чем занимается, довольно сложно, потому что информации очень мало, а данные в даташитах частично пересекаются. Три предприятия – КТЦ «Электроника» и две инкарнации Воронежского завода полупроводниковых приборов – ВЗПП-С (с – это сборка) и ВЗПП-Микрон.

Основную продукцию всех трех предприятий составляют ПЛИС и микросхемы малой степени интеграции. Со вторыми все более-менее ясно: это производимые, наверное, еще с советских времен (на соответствующих проектных нормах) дискретные элементы силовой электроники и логические микросхемы серий 1504, 1505 и т.д.

С ПЛИС все интереснее, потому что они очевидно предназначены для импортозамещения продукции компании Altera, с которой они программно совместимы. Разрабатывает их, судя по всему, КТЦ «Электроника».

Емкость двух обозначенных на сайтах ПЛИС составляет 50к и 200к вентилей, производятся они на немецкой фабрике XFAB. Еще несколько ПЛИС, стойких к воздействию радиации сейчас разрабатывается на базе технологий «Микрона».

НИИЭТ, Воронеж.

Еще одно воронежское предприятие, работающее для космической промышленности – ОАО «НИИ Электронной техники» (НИИЭТ).

НИИЭТ разрабатывает широкий набор микроконтроллеров (8-бит MCS-51, AVR, 16-бит MCS-96, C166), DSP (аналоги Texas Instruments), АЦП/ЦАП и других. Производство, судя по заявленным возможностям предприятия – на XFAB.

В каталоге предприятия три радиационнстойких микросхемы:

1830BE32У/1830BE32АУ – 8 бит, 12/16 МГц, 256 байт ОЗУ (аппаратно троированного), ПЗУ нет, функциональный аналог Intel 80C51FA.

1874BE05Т – 16 бит, 20 МГц, 488 байт SRAM, функциональный аналог Intel 196.

Все радиационнстойкие микросхемы, в отличие от обычных аналогов, производятся в России, на фабрике НИИСИ РАН по технологии 0,5 мкм КНИ.

В таблице перспективных радиационнстойких разработок на ближайшие два года почти десяток позиций, самые интересные из которых – семейство ЦАП, два DSP и микропроцессор с архитектурой SPARC (аналог широко применяемых как в Европе, так и в России процессоров LEON3, поставки которых в Россию совсем недавно прекратились). Удивительно кстати то, что этот про-

цессор делает НИИЭТ, а не например Московский центр SPARC-технологий (МЦСТ) [2].

K1830BE32Y – микроконтроллер отечественного производства Воронежского завода «НИИЭТ» С устойчивостью к специальным внешним воздействующим факторам без ПЗУ с мажорированием ОЗУ представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 - микроконтроллер K1830BE32Y

Представленный микроконтроллер представляет собой 8-разрядное устройство, обладающее полной совместимостью по выводам и системе команд с отечественными аналогами H1830BE31Y и H1830BE51, которые находятся в серийном производстве. Данная микросхема является функциональным эквивалентом указанных моделей.

Основные сферы применения:

1. Встроенные системы управления радиосвязью.
2. Бортовые цифровые системы управления.
3. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.
4. Робототехнические комплексы.
5. Системы управления электроприводами.
6. Телекоммуникационное оборудование.
7. Вычислительная и оргтехника.

8. Средства оповещения и сигнализации.

Устройство предназначено для эксплуатации в условиях повышенных требований к устойчивости при воздействии специальных внешних факторов.

Технические параметры:

1. Архитектурная основа: MCS-51.
2. Максимальная тактовая частота: 12 МГц.
3. Объем оперативной памяти: 256 байт (с тройным резервированием).
4. Поддерживаемые интерфейсы: UART.
5. Рабочее напряжение питания: 5 В ($\pm 10\%$).
6. Потребляемый ток: не более 25 мА.
7. Рабочий температурный диапазон: от -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
8. Конструктивное исполнение: корпус типа Н16.48-2В.
9. Нормативно-техническая документация: ТУ АЕЯР.431280.378ТУ.

Микроконтроллер демонстрирует высокую надежность работы в экстремальных условиях эксплуатации, что делает его оптимальным решением для ответственных применений в различных отраслях промышленности и специальной техники.

Также существует 1882BE53УМ – микроконтроллер с ПЗУ типа Flash, который представлен на рисунке 2.



Рисунок 3 - микроконтроллер 1882BE53УМ.

Данный микроконтроллер представляет собой 8-разрядное устройство с Flash-ПЗУ, позволяющим производить программирование непосредственно в

системе через SPI-интерфейс. Полностью совместим с архитектурой 80C51 по системе команд и функциональному назначению выводов.

Основные области применения:

1. Системы управления радиосвязными комплексами.
2. Автоматизированные системы управления производственными процессами.
3. Управление электроприводами.
4. Робототехнические системы.
5. Телекоммуникационное оборудование.
6. Вычислительные устройства и оргтехника.

Технические параметры:

1. Архитектурная основа: MCS-51.
2. Рабочая частота: до 24 МГц.
3. Объем памяти:
 - а) ОЗУ: 256 байт.
 - б) Flash-память (программная): 12 Кбайт.
 - с) EEPROM (хранение данных): 2 Кбайт.
4. Адресное пространство: 64 Кбайт.
5. Коммуникационные интерфейсы:
 - а) SPI.
 - б) UART.
6. Параметры питания:
 - а) Напряжение: 5 В ($\pm 10\%$).
 - б) Потребляемый ток: 25 мА.
7. Эксплуатационные характеристики:
 - а) Рабочий температурный диапазон: от -60°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
8. Конструктивное исполнение: Корпус H16.48-2B5133.48-3.
9. Нормативная документация:
 - а) ТУ АЕЯР.431280.286ТУ.
 - б) ТУ АЕЯР.431280.286-02ТУ.

Микроконтроллер отличается высокой степенью интеграции и надежностью, что делает его оптимальным решением для построения современных систем управления в различных отраслях промышленности. Возможность внутрисистемного программирования через SPI-интерфейс значительно упрощает процесс разработки и модернизации устройств на его основе [3].

Список литературы

1. Зольников, К.В. Проектирование радиационно-стойких микросхем / К.В.Зольников // Материалы международной конференции «Системные проблемы надежности, качества, компьютерного моделирования, кибернетических, информационных и телекоммуникационных технологий в инновационных проектах». - 2013. -Часть 1. - С.51 - 52.
2. Научно исследовательский институт электронной техники (НИИЭТ). Микроконтроллеры K1830BE32Y и 1882BE53УМ [сайт] <https://niiet.ru/>.
3. Отечественные производители и разработчики микроэлектроники с защитой от радиации. [сайт] <https://habr.com/ru/articles/217427/>.

References

1. Zolnikov, K.V. Design of radiation-resistant microcircuits / K.V.Zolnikov // Proceedings of the international conference "Systemic problems of reliability, quality, computer modeling, cybernetic, information and telecommunication technologies in innovative projects". - 2013. - Part 1. - pp.51-52.
2. Scientific Research Institute of Electronic Technology (NIIET). K1830BE32Y and 1882BE53UM microcontrollers [website] <https://niiet.ru/>.
3. Domestic manufacturers and developers of microelectronics with radiation protection. [website] <https://habr.com/ru/articles/217427/>.

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ
И ПРОЦЕССОВ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции
Воронеж, 14 октября 2025 г.

Ответственный редактор А.Н. Потапов

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 03.12.2025. Объем данных 58,6 Мб
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8