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

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ, ИННОВАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ – 2026

Материалы Международной молодежной
научно-практической конференции

Воронеж, 22-23 октября 2026 г.

Воронеж 2026

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

DEVELOPMENT PROSPECTS, INNOVATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGIES IN TRANSPORT – 2026

Materials of the International Youth
Scientific and Practical Conference

Voronezh, October 22-23, 2026

Voronezh 2026

УДК 629.331+001.895
П27

П27 Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте – 2026 : материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 22–23 октября 2026 года / отв. ред. Д. А. Жайворонок ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2026. – 238 с. – URL: https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2026/perspektivy-razvitiya-innovacii-i-informacionnye-tehnologii-na-transporte/ – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7994-1286-9

В сборнике представлены материалы Международной молодежной научно-практической конференции «Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте», прошедшей в г. Воронеже 22–23 октября 2026 года.

Материалы конференции предназначены для специалистов автомобильной отрасли, информационных технологий и широкого круга читателей.

УДК 629.331+001.895

ISBN 978-5-7994-1286-9 © ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1 Цифровые и информационные технологии управления транспортными системами, транспортная телематика

И. А. Новиков, Д. А. Лазарев, А. А. Конев, Н. А. Унковский. Классификация отказов информационного контура электронного перевозочного документооборота по технологическим последствиям 6
А. Б. Сухатерин. Источники данных интеллектуальных транспортных систем для экологического мониторинга перевозок 12
С. Н. Сухатерина. Цифровизация транспортно-технологических процессов в агропромышленном комплексе 15

Секция 2 Интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект на транспорте

С. Н. Крухмалев, С. В. Дорохин, В. А. Иванников, Е. Р. Вернигора, Д. Н. Крухмалев. Интеллектуальные транспортные системы мониторинга пассажиропотоков на основе компьютерного зрения 19
С. В. Дорохин, Н. А. Загородний, А. С. Семыкина, А. А. Пестов, Р. В. Гринякин. Технологии и тенденции в эксплуатации автомобильного транспорта на предприятиях ... 26
Р. А. Котов, С. В. Дорохин. Интеллектуальная система оценки и управления эффективностью маршрутной сети городского общественного транспорта 35
О. В. Сторожева, Д. Р. Панферова, С. В. Дорохин, А. А. Чепрасова. Цифровой двойник страны: как искусственный интеллект управляет транспортными потоками России в реальном времени 40
В. А. Гаркуша, Е. В. Снятков. Диагностическая оценка причин утечки моторного масла в верхней части двигателя внутреннего сгорания после ремонта 45
В. А. Чухлебов, Е. В. Снятков, Ф. А. Шакина. Совершенствование системы зарядной инфраструктуры электромобилей 50
К. А. Бычкова, О. Ю. Нечаев, А. Г. Шевцова. Научно-методологические основы комплексной оценки влияния элементов ИТС на аварийность в городских агломерациях ... 56
О. Ю. Булатова. Этические аспекты алгоритмического подталкивания в интеллектуальных транспортных системах 60
К. А. Бычкова, А. В. Подкопаев, А. Г. Шевцова. Оценка эффективности инфраструктурных элементов ИТС в снижении тяжести последствий ДТП на примере белгородской агломерации 66
А. Ю. Савенкова, Е. Н. Олейников. Информирование пешеходов в зонах ограниченной видимости 70
А. Г. Шевцова, А. Г. Локтионова, Д. А. Лазарев, А. А. Топский, А. А. Соловьев. Аналитический критерий возникновения заторовой ситуации на подходе к регулируемому пересечению при ограниченной длине переходно-скоростной полосы 74

Секция 3 Безопасность дорожного движения

Р. В. Мороз, С. В. Дорохин. Анализ аварийности и пропускной способности при заторах на автомобильных заправочных станциях 79
Е. В. Чирков, С. В. Дорохин. Систематизация факторов, влияющих на безопасность дорожного движения на маршрутах городских пассажирских перевозок 83

К. А. Закурдаева, А. А. Яровенко. Влияние интерфейсов дополненной реальности на когнитивную нагрузку водителя 88
Н. Н. Паринов, Д. В. Лихачев, А. Ю. Артемов, В. Е. Гришин. Конфликтное взаимодействие левоповоротного транспортного потока и пешеходов на регулируемых перекрестках: современное состояние проблемы и перспективы исследований 94
Н. Н. Паринов, Д. В. Лихачев, Е. В.Чирков, В. Е. Гришин. Современные подходы к моделированию транспортных потоков в крупных городах: теория клеточных автоматов как инструмент упреждающего развития улично-дорожной сети 98
Н. В. Школьных, И. Ю. Струкова, К. А. Закурдаева, М. А. Васильева, Д. И. Кузеватов. Анализ аварийности на дорогах 103
И. Е. Ильина, В. Г. Киреев, И. С. Морозов. Факторный анализ условий дорожно-транспортных происшествий «наезд на пешехода» 108
Е. И. Лежнева, В. А. Лежнева. Повышение безопасности дорожного движения в условиях нестабильного энергоснабжения 113
Т. А. Муниров, А. С. Лукьянов, А. А. Демёхин. Моделирование сценариев кибератак на автоматизированные системы управления дорожным движением и их влияние на пропускную способность дорог 118
Г. М. Пайков, А. Н. Лукьянова. Применение антидрон-систем и средств радиоэлектронного противодействия взрывным устройствам для обеспечения безопасности сотрудников ДПС 122
И. А. Новиков, Д. А. Лазарев, В. Л. Махонин. Оценка устойчивости экспертного вывода о скорости движения при реконструкции дорожно-транспортных происшествий с боковым скольжением 128
И. А. Новиков, Д. П. Стрекалов, Д. С. Чертихин, С. В. Анохин. Цена децентрализации протокольной маршрутизации грузовых потоков в логистическом транспортном каркасе Российской Федерации 133
А. С. Лукьянов, М. Р. Верёвкина, К. Д. Дьякова. Принципы, организация и перспективы безопасности дорожного движения на базе современных ИТ-решений 139

Секция 4 Инновационные технологии в транспортном комплексе

Н. А. Азарова, В. А. Зеликов, В. А. Иванников, Г. Д. Жайворонок, С. А. Швырев. Транспортная связанность как фактор экономического развития регионов России 143
Ф. А. Шакина, Д. А. Жайворонок, Э. А. Черников, Е. Р. Вернигора, С. Н. Крухмалев. Технологические аспекты заготовки и транспортной логистики хвойного сырья: мировая и отечественная практика 149
А. М. Щелудяков. Перспективы автоматизированного контроля уровня шума транспортных потоков 153

Секция 5 Энергоэффективные технические решения для автомобильного транспорта

С. Л. Панченко, С. А. Толстов, М. С. Хрипченко, П. К. Бодаченко, А. Е. Мазуров. Интенсификация процесса теплообмена в радиаторах систем охлаждения ДВС 157
Е. А. Логунова, Д. В. Каргашилов. Оценка диагностических признаков развития теплового разгона тяговой аккумуляторной батареи электромобиля 161

Секция 6 Альтернативные источники энергии на транспорте

В. А. Морковин, Т. Н. Стородубцева, В. Р. Бучнев. Перспективы использования водорода в качестве топлива автомобильного транспорта 168
В. О. Никонов, В. И. Посметьев, В. В. Скобелев. Оценка инфраструктурных и энергетических барьеров эксплуатации электротранспорта в России и сценарии их преодоления 173
А. Г. Локтионова, И. В. Кулев, З. А. Корзан. Перспективы использования электромобилей в транспортном комплексе Российской Федерации 182
Р. В. Филиппова, Д. Ю. Михайлов. Определение необходимого количества подвижного состава и зарядных постов при переводе городских маршрутов на электрическую тягу 187
Р. Д. Яцюта, Т. Н. Стородубцева. Биотопливо из отходов лесопромышленного комплекса для автомобильного транспорта 194

Секция 7 Перспективные технологии изготовления и упрочнения деталей автомобилей

Т. Н. Стородубцева, Д. А. Иванов, О. И. Шакирова. Новые материалы для изготовления поршней: алюминиевые сплавы и композиты 198
Т. Н. Стородубцева, И. А. Самодуров, Д. С. Плотников. Сравнительный анализ эффективности PVD- и CVD-покрытий режущего инструмента при точении стали 40Х 204
В. О. Никонов, В. И. Посметьев, И. О. Храпов. Имитационное моделирование изнашивания опорной плиты и седла седельно-сцепного устройства лесовозного автопоезда 208

Секция 8 Современные неразрушающие методы диагностики агрегатов и систем автомобилей

Е. Р. Вернигора, В. А. Иванников, А. В. Латынин, И. Е. Поляков, Р. В. Мороз. Разработка и внедрение средства неразрушающего контроля качества гидравлического масла для лесозаготовительных машин 215

Секция 9 Управление техническим состоянием транспортных средств в течение их жизненного цикла

А. В. Кучин, В. Д. Лебедев, Т. В. Кукушкин. Алгоритм устранения технических неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации горной и карьерной техники Caterpillar 221

Секция 10 Общие вопросы организации учебного процесса в высшей школе в рамках укрупненной группы 23.00.00

И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, А. М. Протопопов. Применение тестов в тренировке пловцов 226
И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, А. М. Протопопов. Исследование эффективности различных вариантов отдыха в условиях нарастающего утомления ... 229
М. М. Рыбникова, А. А. Ларченко. Рациональное питание студентов 233

Секция 1 Цифровые и информационные технологии управления транспортными системами, транспортная телематика

DOI: 10.58168/DPIITT2026_6-11
УДК 656.073:004.9

КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ ИНФОРМАЦИОННОГО КОНТУРА ЭЛЕКТРОННОГО ПЕРЕВОЗОЧНОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПОСЛЕДСТВИЯМ

И.А. Новиков[1], Д.А. Лазарев[1], А.А. Конев[1], Н.А. Унковский[1],
[1]Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова, Белгород, Россия
Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Лазарев, avtotech31@mail.ru

Аннотация. Показано, что типологии отказов электронного перевозочного документооборота, построенные по источнику отказа, непригодны для оценки надежности перевозки. Предложена классификация отказов по технологическим последствиям из четырех классов и контекстно–зависимое отображение групп отказов на эти классы. Установлено, что валовая частота отказов завышает оценку потерь, а наиболее тяжелые последствия локализованы в блокирующих узлах цепи, не обеспеченных резервными средствами.

Ключевые слова: электронный перевозочный документооборот; транспортно-логистическая цепь; информационный контур; отказ; классификация; технологические последствия; технологический резерв времени; надежность перевозки.

CLASSIFICATION OF INFORMATION CIRCUIT FAILURES IN ELECTRONIC FREIGHT DOCUMENT MANAGEMENT BY THEIR TECHNOLOGICAL CONSEQUENCES

I.A. Novikov[1], D.A. Lazarev[1], A.A. Konev[1], N.A. Unkovskiy[1]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Corresponding author: Dmitry Alexandrovich Lazarev, avtotech31@mail.ru

Abstract. It is shown that failure typologies of electronic freight document management built on the failure source are unsuitable for assessing carriage reliability. A classification of failures by their technological consequences comprising four classes is proposed, together with a context–dependent mapping of failure groups onto these classes. It is established that the gross failure rate overstates the estimated losses, whereas the severest consequences are localised in blocking nodes of the chain that are not provided with backup means.

Keywords: electronic freight document management; transport and logistics chain; information circuit; failure; classification; technological consequences; technological time reserve; carriage reliability.

Обязательность электронного оформления перевозочных документов изменила состав событий, способных нарушить исполнение перевозки [1]. Наряду с отказами транспортных средств, механизмов и инфраструктуры появились события, при которых материальная часть перевозочного процесса полностью работоспособна, однако перевозка не может быть оформлена: пункт погрузки находится вне зоны устойчивого покрытия сети связи; система оператора недоступна; срок действия сертификата ключа проверки электронной подписи истек в рейсе; документ не подтвержден контрагентом,

© Новиков И. А., Лазарев Д. А., Конев А. А., Унковский Н. А., 2026

обслуживаемым другим оператором. Совокупность участников информационного взаимодействия, информационных систем, каналов связи и средств удостоверения, посредством которых выполняется юридически значимый обмен сведениями о перевозке, далее именуется информационным контуром транспортно–логистической цепи; обоснование этого понятия и его состав приведены авторами ранее [5].

Наблюдаемые проявления отказов информационного контура фиксируются несколькими независимыми источниками. Регламент информационного взаимодействия содержит перечень кодов ошибок с указанием причин и рекомендаций по устранению; журналы транспортных предприятий регистрируют интервалы недоступности связи и телематического оборудования; отраслевая отчетность дает агрегированные показатели доступности государственной информационной системы. Все перечисленные перечни построены по одному основанию – по источнику или механизму отказа. Для организации сбора данных такое основание удобно и практически безальтернативно, однако для оценки надежности перевозки оно непригодно, и тому есть две причины.

Первая причина – неразличимость источников с позиции участника цепи: недоступность системы оператора, вызванная отказом оборудования, ошибкой обновления программного обеспечения или внешним вмешательством, проявляется для грузоотправителя и перевозчика одинаково, и требуется одно и то же технологическое действие. Классификация по источнику опирается здесь на сведения, которыми участник цепи не располагает.

Вторая причина существеннее: отказ одной и той же природы и одной и той же длительности порождает качественно различные последствия в зависимости от обстоятельств возникновения. Недоступность системы оператора продолжительностью двадцать минут на магистральном участке за четыре часа до прибытия под выгрузку не влечет технологических последствий вовсе, поскольку устраняется в пределах имеющегося запаса времени; та же недоступность в момент прибытия под выгрузку влечет простой транспортного средства, водителя и персонала грузополучателя, а в момент прохождения весогабаритного контроля способна повлечь последствия административного характера. Один источник, одна длительность – три различных исхода.

Отсюда следует, что основание классификации, пригодное для расчета надежности, должно относиться не к причине события, а к его следствию для перевозочного процесса.

Основание классификации. Отказы информационного контура предлагается классифицировать по характеру производимого ими изменения технологических характеристик реализации звена транспортно–логистической цепи – приращения времени реализации, приращения затрат и изменения статуса реализованности звена. Классификация, построенная на таком основании, обладает двумя необходимыми для моделирования свойствами. Она инвариантна относительно источника отказа, вследствие чего применима в условиях, когда источник участнику цепи неизвестен. Она замкнута относительно моделирования: каждому выделяемому классу соответствует определенное воздействие на переменные модели надежности, благодаря чему классификация встраивается в расчетный аппарат непосредственно, без промежуточных экспертных преобразований.

Формальная рамка вводится следующим образом. Звено цепи считается реализованным при одновременном выполнении материального и документарного условий:

$$A_i = A_{iM} \wedge A_{iИ}, \text{ где } \quad i = 1, \ldots, n, \tag{1}$$

где $A_{iМ}$ – событие материальной реализации i–го звена (перемещение и перевалка выполнены, груз сохранен), $A_{iИ}$ – событие документарного замыкания перехода ответственности в соответствующем узле, n – число звеньев цепи. Время реализации звена при этом представляется в виде

$$T_i = T_{iM} \wedge T_{iИ}, \quad \Delta T_{iИ} \geq 0, \tag{2}$$

где $\Delta T_{iИ}$ – приращение времени, обусловленное отказом информационного контура; величина обращается в нуль при безотказном функционировании контура. Соответственно приращение затрат обозначается ΔC_i, а технологический резерв времени, имеющийся в момент возникновения отказа, – $\tau_{рез}$. Общая схема преобразования отказа информационного контура в изменение переменных модели надежности звена приведена на рисунке 1.

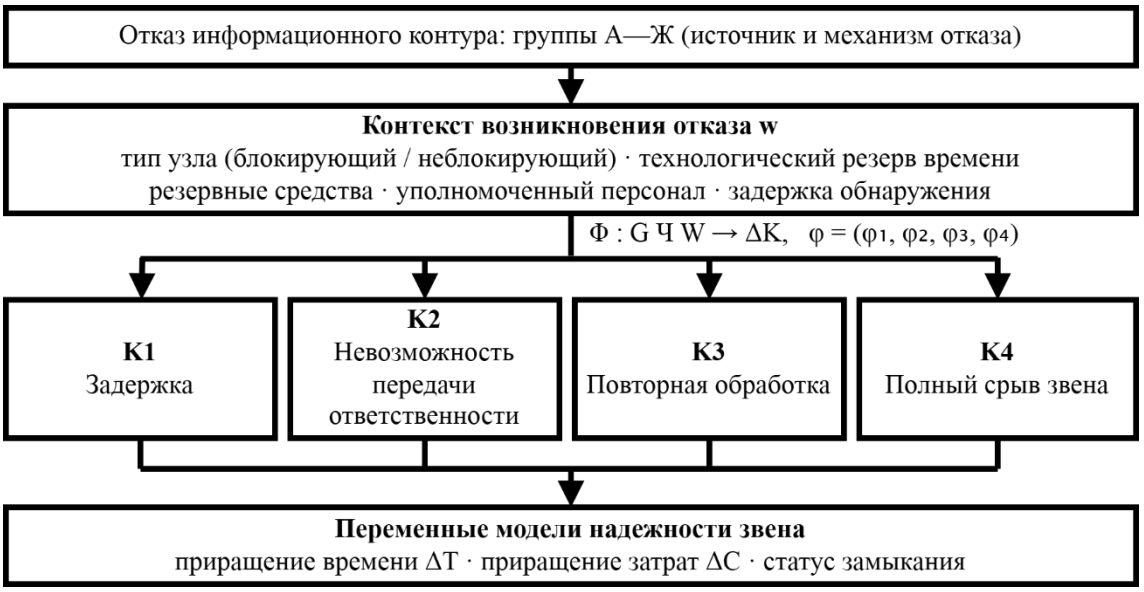


Рисунок 1 – Схема отображения отказа информационного контура на переменные модели надежности звена транспортно–логистической цепи
Figure 1 – Mapping of an information circuit failure onto the reliability model variables of a transport and logistics chain link

По введенному основанию выделяются четыре класса технологических последствий. Класс K1 – задержка: документ в итоге формируется, подписывается и передается, но позднее требуемого момента, статус звена не изменяется. Класс K2 – невозможность передачи ответственности: отказ наступает в узле, в котором дальнейшее движение груза без документарного подтверждения либо невозможно, либо означает принятие правового риска. Класс K3 – повторная обработка: устранение требует дополнительного технологического цикла, способного повторяться при неудачной попытке, вследствие чего приращение времени приобретает характер суммы случайного числа случайных слагаемых. Класс K4 – полный срыв звена: отказ не устраняется в пределах предельно допустимого времени, перевозка отменяется, груз возвращается либо помещается на ответственное хранение.

Соответствие между описательной типологией отказов, построенной по источнику, и предложенной классификацией по последствиям не является взаимно однозначным. Обозначив через G = {А, Б, В, Г, Д, Е, Ж} множество групп отказов, выделяемых по источнику, через W – множество контекстов возникновения отказа, а через ΔK – множество распределений вероятностей на классах K1–K4, указанное соответствие можно записать как отображение

$$\Phi : G \times W \to \Delta K , \tag{3}$$

значением которого выступает вектор

$$\varphi = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4), \quad \varphi_i \geq 0, \quad \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 = 1. \tag{4}$$

Группы отказов образуют следующий перечень: А – недоступность информационных систем (государственной системы и систем операторов); Б – отказ канала связи и телематического оборудования; В – отказ форматно–логического контроля; Г – отказ средств удостоверения (сертификатов ключей проверки электронной подписи, машиночитаемых доверенностей); Д – отказ межоператорского взаимодействия; Е – рассинхронизация статусов документов; Ж – утрата подтверждения приема–передачи. Контекст w характеризуется типом узла (блокирующий либо неблокирующий), величиной технологического резерва времени $\tau_{рез}$, наличием резервных средств в точке отказа (резервный канал связи, подключение ко второму оператору, дублирующий сертификат подписи, оформление на бумажном носителе в допускаемых нормативно случаях [2, 3]), наличием уполномоченного персонала и задержкой обнаружения отказа. Вероятностный характер значения отображения отражает то, что при фиксированной группе и фиксированном контексте класс последствий определяется неоднозначно. Качественная структура отображения приведена в таблице 1; ее количественная параметризация выполняется по данным экспертного опроса и эксплуатационной статистики.

Таблица 1 – Отображение групп отказов на классы технологических последствий
Table 1 – Mapping of failure groups onto classes of technological consequences

Группа отказа	**Неблокирующий узел, резерв времени достаточен**	**Неблокирующий узел, резерв времени недостаточен**	**Блокирующий узел, резервные средства имеются**	**Блокирующий узел, резервные средства отсутствуют**
А. Недоступность информационных систем	Последствий нет	К1	К1 (переход в резервный режим)	К2, при длительной недоступности – К4
Б. Отказ канала связи	Последствий нет	К1	К1 или К3 (офлайн–оформление)	К2, при отсутствии покрытия в точке – К2 или К4
В. Отказ форматно–логического контроля	К3 (устранение в резерве времени)	К3	К3	К2 и К3 совместно
Г. Отказ средств удостоверения	К1 или К3	К3	К1 (подписание вторым лицом)	К2, при невозможности замены – К4
Д. Отказ межоператорского взаимодействия	К3 при своевременном обнаружении	К3	К3	К2 и К3 совместно, при длительном согласовании – К4
Е. Рассинхронизация статусов	Немедленных последствий нет	К3 отложенно	К3	К2 отложенно, проявление при сверке
Ж. Утрата подтверждения приема–передачи	Вне узла не возникает	Вне узла не возникает	К1 или К3	К2 всегда, при неустранении – К4

Таблица 1 обнаруживает три закономерности, имеющие самостоятельное практическое значение.

Первая: при неблокирующем характере узла и достаточном технологическом резерве времени большинство групп отказов не порождает технологических последствий вовсе. Отсюда следует, что валовая частота отказов информационного контура систематически завышает оценку их влияния на надежность перевозки, а прямой перенос показателей доступности информационных систем на показатели надежности цепи методически некорректен. Корректная оценка требует обязательного учета контекста, то есть привязки каждого зарегистрированного события к узлу цепи и к состоянию запаса времени в момент его возникновения.

Вторая: класс К2 возникает практически исключительно в блокирующих узлах при отсутствии резервных средств. Это указывает на адресный, а не сплошной характер целесообразного резервирования: размещение резервных средств именно в блокирующих узлах переводит отказы из класса, останавливающего процесс, в классы, порождающие ограниченную задержку или дополнительный цикл обработки. Поскольку стои-

мость резервирования пропорциональна числу оснащаемых узлов, а эффект сосредоточен в их малом подмножестве, выбор узлов приобретает содержание оптимизационной задачи.

Третья: группы Д и Е отличаются отложенным обнаружением – отказ межоператорского взаимодействия и рассинхронизация статусов документов обнаруживаются либо при попытке выполнения следующей операции, либо при сверке. Запас времени расходуется до момента обнаружения, и к началу устранения контекст оказывается менее благоприятным, чем в момент возникновения отказа. Поэтому активный контроль статусов документов, не повышающий надежность ни одного элемента контура, способен обладать высокой удельной эффективностью – за счет сохранения технологического резерва времени.

Классификация задает и требования к эксплуатационному учету: для оценки параметров отображения Ф журнал событий должен содержать, помимо момента и длительности события, привязку к узлу цепи, признак блокирования узла, состояние запаса времени и результат разрешения ситуации. Ни один из доступных источников такой совокупностью полей не располагает.

Выводы. Типология отказов по источнику, необходимая для сбора данных, непригодна для оценки надежности перевозки. Предложенная классификация по технологическим последствиям инвариантна относительно источника отказа и замкнута относительно моделирования, а соответствие между группами отказов и классами последствий имеет вид контекстно–зависимого отображения. Из его структуры следуют три практически значимых результата: валовая частота отказов завышает оценку потерь; наиболее тяжелый класс последствий локализован в блокирующих узлах, не обеспеченных резервными средствами, что обосновывает адресный характер резервирования; отложенное обнаружение отказов межоператорского взаимодействия расходует технологический резерв времени и делает активный контроль статусов документов самостоятельным средством повышения надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта : Федеральный закон от 08.11.2007 № 259–ФЗ (с изменениями и дополнениями). – URL: http://pravo.gov.ru.

2. Об утверждении случаев оформления перевозочных документов на бумажном носителе : приказ Министерства транспорта Российской Федерации № 262.

3. Об утверждении перечня населенных пунктов, в которых не оказываются услуги по передаче данных и (или) услуги подвижной радиотелефонной связи : распоряжение Правительства Российской Федерации от 10.07.2025 № 1855–р.

4. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 24 с.

5. Новиков, И.А. Концепция формирования транспортного контура мультимодальных перевозок / И. А. Новиков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2026. – № 3. – С. 11–21. – DOI 10.25198/2077–7175–2026–3–11. – EDN EROMYL.

6. Концепция архитектуры платформы цифровой экосистемы логистической среды цепей поставок с использованием контейнерных перевозок / С. Н. Глаголев, А. С. Трошин, Е. В. Мирошников, И. А. Новиков // Транспорт Урала. – 2025. – № 4(87). – С. 50–56. – DOI 10.20291/1815–9400–2025–4–50–56. – EDN VKNJDY.

7. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – Москва : Наука, 1965. – 524 с.

8. Tang C. S. Perspectives in supply chain risk management // International Journal of Production Economics. – 2006. – Vol. 103, № 2. – P. 451–488.

9. Ivanov D. The ripple effect in supply chains: trade–off «efficiency–flexibility–resilience» in disruption management / D. Ivanov, B. Sokolov, A. Dolgui // International Journal of Production Research. – 2014. – Vol. 52, № 7. – P. 2154–2172.

REFERENCES

1. Charter of road transport and urban ground electric transport : Federal Law of 08.11.2007 No. 259–FZ (as amended). – URL: http://pravo.gov.ru.

2. On approval of the cases of issuing transport documents on paper : Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 262.

3. On approval of the list of settlements where data transmission services and (or) mobile radiotelephone communication services are not provided : Decree of the Government of the Russian Federation of 10.07.2025 No. 1855–r.

4. GOST 27.002–2015. Dependability in technics. Terms and definitions. – Moscow : Standartinform, 2016. – 24 p.

5. Novikov, I.A. The concept of the formation of the transport circuit of multimodal transportation/I.A. Novikov//Intellect. Innovation. Investments. – 2026. – № 3. – S. 11–21. – DOI 10.25198/2077–7175–2026–3–11. – EDN EROMYL.

6. The concept of the architecture of the platform of the digital ecosystem of the supply chain logistics environment using container transportation/S. N. Glagolev, A. S. Troshin, E. V. Miroshnikov, I. A. Novikov//Transport of the Urals. – 2025. – № 4(87). – S. 50–56. – DOI 10.20291/1815–9400–2025–4–50–56. – EDN VKNJDY.

7. Gnedenko B. V., Belyaev Yu. K., Solovyev A. D. Mathematical methods in reliability theory. – Moscow : Nauka, 1965. – 524 p.

8. Tang C. S. Perspectives in supply chain risk management // International Journal of Production Economics. – 2006. – Vol. 103, No. 2. – pp. 451–488.

9. Ivanov D., Sokolov B., Dolgui A. The ripple effect in supply chains: trade–off "efficiency–flexibility–resilience" in disruption management // International Journal of Production Research. – 2014. – Vol. 52, No. 7. – pp. 2154–2172.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_12-14
УДК 65.011

ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПЕРЕВОЗОК

А.Б. Сухатерин[1]
[1]МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия
suhaterin@mirea.ru

Аннотация. В статье проанализированы источники данных интеллектуальных транспортных систем, применяемых для экологического мониторинга грузовых автомобильных перевозок. Рассмотрена структура данных, поступающих от телематики, систем GPS/ГЛОНАСС–трекинга, учётных систем, метеосервисов и лабораторных измерений. Проанализирована российская нормативно–правовая база учёта выбросов парниковых газов от автотранспорта.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, источники данных, экологический мониторинг.

DATA SOURCES OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING OF TRANSPORT OPERATIONS

A.B. Suhaterin[1]
[1]MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia
suhaterin@mirea.ru

Annotation. The article analyzes the data sources of intelligent transport systems used for environmental monitoring of freight road transport. The structure of data coming from telematics, GPS/GLONASS tracking systems, accounting systems, weather services, and laboratory measurements is examined. The Russian regulatory framework for accounting for greenhouse gas emissions from motor transport is analyzed.

Keywords: intelligent transport systems, data sources, environmental monitoring.

Современные интеллектуальные транспортные системы создают инфраструктуру для непрерывного сбора и обработки данных о движении транспортных средств, их техническом состоянии и окружающей среде. Эти данные являются основой для оценки экологического воздействия автотранспорта на окружающую среду.

В контексте интеллектуальных транспортных систем под источниками данных понимаются каналы, по которым система собирает информацию, необходимую для оценки экологического воздействия перевозок на окружающую среду. Данные и источники данных от ИТС для экологического мониторинга и анализа процесса перевозок приведены в таблице 1.

Используя возможности ИТС, необходимо агрегировать разнородные потоки, чтобы на их основе рассчитывать показатели экологического воздействия (выбросы CO_2, NOx, твёрдых частиц) и выявлять наиболее экологически неблагоприятные места прохождения транспортного средства.

В России ключевым нормативным документом для государственного учёта выбросов является Федеральный закон от 02.07.2021 № 296–ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» [1].

© Сухатерин А. Б., 2026

Таблица 1. Данные и источники данных от ИТС для экологического мониторинга и анализа перевозок

Table 1 – Data and data sources from ITS for environmental monitoring and transportation analysis

Источники данных	Данные для экологического мониторинга и анализа перевозок
Данные телематики и IoT	Расход топлива, скорость, маршруты, время простоя ТС, тип двигателя с датчиков на транспортных средствах
Данные GPS/ГЛОНАСС–трекинга	Координаты ТС, пройденное расстояние, объем перевозок, грузооборот, пассажирооборот
Данные из ERP и учётных систем	Договоры с подрядчиками, акты выполненных работ, транспортно–логистические документы (путевые листы, накладные)
Данные метеосервисов и карт	Заторы, рельеф, ограничения скорости – всё, что влияет на режим движения и, как следствие, на выбросы
Данные лабораторных анализов	Если система интегрирована с лабораториями для прямого замера состава выхлопных газов

Закон определяет понятие кадастра парниковых газов и – систематизированного свода сведений на основе официальной статистики. Для практической реализации закона важен Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» [2].

Он утверждает методики количественного определения объёмов выбросов. В документе указано, что в качестве источников данных для расчётов используются документированные сведения из системы производственного контроля – журналы, отчёты, договоры на поставку топлива, сертификаты, результаты лабораторных тестов, формы статистической отчётности.

То есть закон и подзаконные акты регламентируют, что данные из ИТС должны быть верифицируемы и документируемы, чтобы на их основе можно было сформировать отчёт для государственного реестра.

Дополнительно при экологическом мониторинге и анализе процессов перевозок необходимо учитывать российские стандарты, которые определяют требования к количественному определению и отчётности по выбросам (ГОСТ Р ИСО 14064–1–2021) и регламентируют управление углеродным следом (ГОСТ Р ИСО 14067–2021).

В работе проанализированы международные подходы, протоколы экологического мониторинга и анализа процессов перевозок, которые необходимо учитывать при использовании ИТС.

Для решения поставленных в работе задач на международном уровне предлагаются к использованию два инструмента, имеющие разный статус, но используются вместе. 1. Протокол по парниковым газам GHG Protocol. Международный стандарт, который предлагает классификацию выбросов вредных веществ по трём направлениям (Scope). 2. Практическое руководство, самостоятельный стандарт GLEC Framework (Global Logistics Emissions Council). Его цель – дать отраслевое общее решение для расчёта и отчётности по выбросам в логистических цепочках или смешанных перевозок.

GLEC Framework опирается на ISO 14083:2023 «Парниковые газы. Количественная оценка и отчётность по выбросам парниковых газов в результате функционирования транспортной цепочки». Он предлагает конкретные инструменты расчета, например, методику расчёта интенсивности выбросов в кг CO_2 эквивалента на тонно–километр с учётом класса транспортного средства, типа топлива и региона. GLEC учитывает не только сжигание топлива в двигателе, но и выбросы вредных веществ отработавших газов при

производстве топлива. Это делает расчёт более полным для оценки жизненного цикла. На практике GLEC Framework часто используют как инструмент для детализации и повышения точности расчётов.

В соответствии с методологией Global Logistics Emissions Council (GLEC Framework) и Протокола по парниковым газам (GHG Protocol) именно наличие первичных активити-данных (activity data) позволяет перейти от усреднённых нормативов к расчёту фактических выбросов по конкретным перевозкам.

Относительно автомобильных перевозок основными источниками активити-данных, интегрируемыми в ИТС, являются: данные бортовой сети (CAN-шина); специализированные датчики расхода топлива; GPS/ГЛОНАСС-трекеры и внешние сервисы (дорожные карты, транспортный поток, метео информация).

Интеллектуальные транспортные системы формируют разнородную информационную базу для экологического мониторинга перевозок, включающую данные телематики и IoT, GPS/ГЛОНАСС–трекинга, учётных систем, метеосервисов и лабораторных анализов. Агрегация этих потоков данных позволяет рассчитывать показатели экологического воздействия транспортных средств и выявлять участки маршрутов с наибольшей экологической нагрузкой.

Российская нормативно–правовая база устанавливает требования к количественному определению и отчётности по выбросам парниковых газов. Данные из ИТС должны быть верифицируемы и документируемы для формирования отчётов, представляемых в государственный кадастр парниковых газов. Применение международных методологий совместно с российскими стандартами обеспечивает комплексный подход к оценке углеродного следа транспортных цепочек.

Ключевым фактором перехода от усреднённых нормативов к расчёту фактических выбросов по конкретным перевозкам является наличие первичных данных, источниками которых в автомобильных перевозках служат CAN–шина транспортного средства, специализированные датчики расхода топлива, GPS/ГЛОНАСС–трекеры и внешние сервисы (дорожные карты, данные о транспортном потоке и метеоусловиях). Интеграция этих источников в единую информационную систему ИТС обеспечивает прозрачность, сопоставимость и достоверность экологической отчётности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об ограничении выбросов парниковых газов : Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020034 (дата обращения: 15.09.2026).

2. Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов : Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo. gov.ru/Document/View/0001202207290034 (дата обращения: 15.09.2026).

REFERENCES

1. On limiting greenhouse Gas emissions : Federal Law No. 296-FZ dated 07/02/2021 // Official Internet Portal of Legal Information. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020034 (date of request: 09/15/2026).

2. On approval of methods for quantifying greenhouse gas Emissions and greenhouse gas removals : Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 05/27/2022 No. 371 // Official Internet Portal of Legal Information. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207290034 (date of request: 09/15/2026).

DOI: 10.58168/DPIITT2026_15-18
УДК 65.011

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

С.Н. Сухатерина[1]
[1]МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия
suhaterina.s.n@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы развития информационных технологий в агропромышленном комплексе, анализируются современные тенденции цифровизации транспортно-технологических процессов агропромышленного комплекса. Внимание уделяется вопросам интеграции цифровых решений в существующие транспортно-технологические процессы агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: транспорт, цифровые технологии, перспективы, агропромышленный комплекс.

DIGITALIZATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

S.N. Suhaterina[1]
[1]MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia
suhaterina.s.n@yandex.ru

Abstract. The article examines the prospects for the development of information technologies in the agro-industrial complex, analyzes current trends in the digitalization of transport and technological processes in the agro-industrial complex. Attention is paid to the integration of digital solutions into the existing transport and technological processes of the agro-industrial complex.

Keywords: transport, digital technologies, prospects, agro-industrial complex.

Цифровизация агропромышленного комплекса (АПК) является одним из приоритетных направлений развития российской экономики. В условиях задач по обеспечению продовольственной безопасности, повышению эффективности отрасли и импортозамещению внедрение цифровых технологий в транспортно-технологические процессы приобретает особую значимость. Большое разнообразие видов сельскохозяйственных грузов (рисунок 1), широкая специализация подвижного состава для доставки сельскохозяйственных грузов (рисунок 2) диктуют свои требования к организации и управлению перевозками данных грузов.

Цифровизация перевозок сельскохозяйственных грузов становится важным фактором повышения эффективности функционирования сельскохозяйственной отрасли.

© Сухатерина С. Н., 2026

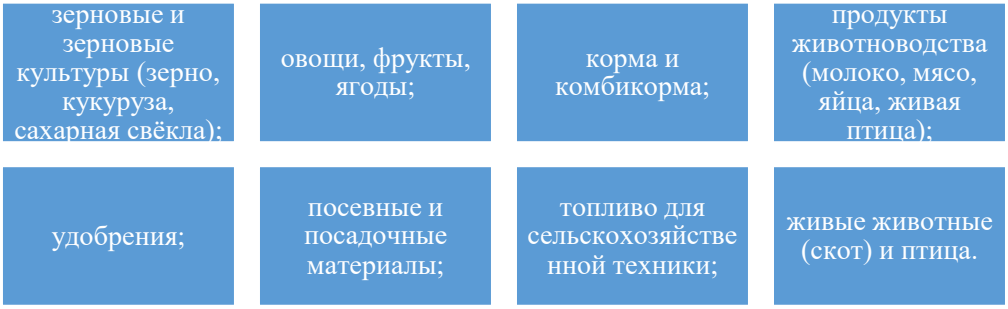


Рисунок 1 – Виды сельскохозяйственных грузов
Figure 1 – Types of agricultural goods

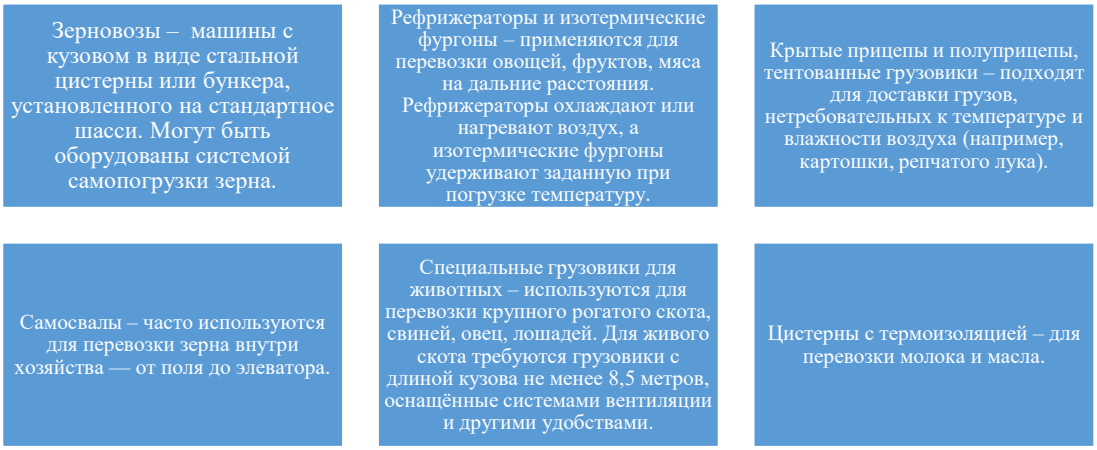


Рисунок 2 – Транспортные средства для перевозки сельскохозяйственных грузов
Figure 2 – Vehicles for transportation of agricultural goods

Целью работы является систематизация направлений цифровизации транспортно–технологических процессов АПК с учётом специфики различных видов сельскохозяйственных грузов и оценка перспектив их внедрения.

Цифровая трансформация агропромышленного комплекса с учетом разнообразия рода грузов и разного объема перевозок включает автоматизацию управления сельскохозяйственной техникой с учётом типа перевозимого груза, внедрение систем точного земледелия и планирования посевов, цифровизацию логистических процессов с учётом специфики сельскохозяйственных грузов (маршрутизация, контроль условий перевозки), создание интегрированных информационных систем для управления цепочками поставок, применение беспилотных транспортных средств для внутрихозяйственных перевозок, использование IoT–датчиков для мониторинга условий транспортировки и хранения сельскохозяйственных грузов.

Важным направлением повышения эффективности функционирования агропромышленного комплекса является системный подход к организации транспортного и технологического процессов [1, 2]. Основными направлениями цифровизации транспортно–технологических процессов агропромышленного комплекса являются интеллектуальные системы управления транспортом, цифровые платформы для управления процессами, системы мониторинга производственной деятельности (таблица 1).

Представленные в таблице 1 направления охватывают как управленческие, так и технологические аспекты цифровизации. В настоящее время в российском АПК уже внедряются отдельные элементы предложенных направлений

Таблица 1 – Основными направлениями цифровизации транспортно-технологических процессов агропромышленного комплекса

Table 1 – The main directions of digitalization of transport and technological processes of the agro-industrial complex

№	Направление цифровизации	Описание
1	Интеллектуальные системы управления транспортом	разработка алгоритмов маршрутизации с учётом типа груза сельскохозяйственных и его особенностей (температурный режим, скорость доставки); внедрение систем реального времени для отслеживания условий перевозки (температура, влажность, вибрация); автоматизация планирования загрузки и разгрузки с учётом совместимости сельскохозяйственных грузов.
2	Цифровые платформы для управления доставкой сельскохозяйственных грузов	создание единой платформы для всех участников перевозки и производства; внедрение электронных сопроводительных документов с QR–кодами для отслеживания происхождения и условий перевозки сельскохозяйственных грузов; прогнозирование потребностей в транспортировке с учётом сезонности и специфики сельскохозяйственной продукции.
3	Системы мониторинга агропромышленного производства	контроль качества продукции на всех этапах цепочки поставок; учёт производственных показателей с детализацией по типам сельскохозяйственных грузов; анализ эффективности технологических процессов с учётом особенностей транспортировки и хранения.
4	Специализированные решения для разных грузов	для скоропортящихся грузов (овощи, фрукты, продукты животноводства) – системы контроля температуры и влажности в рефрижераторах, прогнозирование сроков годности; для перевозки птицы – цифровые системы ветеринарного контроля, мониторинг состояния животных в пути; для сыпучих грузов (зерно, комбикорма) – датчики уровня и влажности, автоматизация процессов загрузки/разгрузки сельскохозяйственных грузов; для удобрений и топлива – системы контроля безопасности, учёт объёмов и качества.
5	Использование Big Data и искусственного интеллекта	анализ больших объёмов данных о перевозках для оптимизации транспортно–логистических процессов; прогнозирование спроса на различные категории сельскохозяйственных грузов; выявление «узких мест» в цепочках поставок и предложение оптимальных решений.
6	Внедрение блокчейн-технологий	обеспечение прозрачности и неизменности данных о происхождении и условиях перевозки сельскохозяйственных грузов; упрощение процедур сертификации и контроля качества.

Цифровизация транспортно-технологических процессов в агропромышленном комплексе является важным направлением развития отрасли. Системный подход к внедрению цифровых технологий в транспортном обеспечении производственных процессов позволит создать эффективную систему управления производством, повысить конкурентоспособность агропромышленного комплекса и обеспечить продовольственную безопасность страны.

Предложенная систематизация направлений цифровизации, включающая интеллектуальные системы управления транспортом, цифровые платформы, системы мониторинга, специализированные решения для разных типов грузов, технологии Big Data и блокчейн, охватывает ключевые аспекты транспортно-технологических процессов АПК и учитывает специфику сельскохозяйственных грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сторожева, О.В. Инновации логистики в агропромышленном комплексе (АПК) / О.В. Сторожева, С.В. Дорохин, А.А. Чепрасова // Интеллектуальные системы в аграрном и строительном комплексе: материалы международной научно–практической конференции. Орел: Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, 2024. С. 359–363.

2. Стельмашонок, Е.В. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е.В. Стельмашонок, В.Л. Стельмашонок // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 336–365.

3. Копнин, А.С. Совершенствование технологий в цифровой логистике агропромышленного комплекса: от обеспечения безопасности до современных способов управления / А.С. Копнин, М.А. Аббазова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3(83). С. 136–143.

REFERENCES

1. Storozheva O.V. Logistics innovations in the agro–industrial complex / O.V. Storozheva, S.V. Dorokhin, A.A. Cheprasova // Intelligent systems in the agricultural and construction complex. Collection of materials of the International Scientific and practical Conference. Orel, 2024. pp. 359–363.

2. Stelmashonok, E.V. Digital transformation of the agro–industrial complex: analysis of prospects / E.V. Stelmashonok, V.L. Stelmashonok // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Vol. 13, No. 2. pp. 336–365.

3. Kopnin, A.S. Improvement of technologies in digital logistics of the agro–industrial complex: from security to modern management methods / A.S. Kopnin, M.A. Abbazova // Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2025. No. 3(83). pp. 136–143.

Секция 2 Интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект на транспорте

DOI: 10.58168/DPIITT2026_19-25
УДК 656.025.2:004.93

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

С.Н. Крухмалев[1], С.В. Дорохин[1], В.А. Иванников[1], Е.Р. Вернигора[1], Д.Н. Крухмалев[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Сергей Николаевич Крухмалев, skruhmalev1@gmail.com

Аннотация. Рассмотрено применение компьютерного зрения и глубокого обучения для мониторинга пассажиропотоков городского транспорта. Предложена архитектура ИТС на основе YOLO и DeepSORT с подсчётом входа/выхода. Приведены данные о точности, обсуждены развёртывание на edge-устройствах и интеграция.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, компьютерное зрение, пассажиропоток, YOLO, DeepSORT, видеоаналитика, городской пассажирский транспорт.

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS FOR MONITORING PASSENGER FLOWS BASED ON COMPUTER VISION

S.N. Krukhmalev[1], S.V. Dorokhin[1], V.A. Ivannikov[1], E.R. Vernigora[1], D.N. Krukhmalev[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Sergey Nikolaevich Krukhmalev, skruhmalev1@gmail.com

Abstract. The application of computer vision and deep learning for monitoring passenger flows in urban transport is considered. An ITS architecture based on YOLO and DeepSORT with entry/exit counting is proposed. Accuracy data are presented, and deployment on edge devices and integration are discussed.

Keywords: intelligent transport systems, computer vision, passenger traffic, YOLO, DeepSORT, video analytics, urban public transport

Эффективное управление городским пассажирским транспортом невозможно без достоверных данных о пассажиропотоках. Традиционные методы учёта – ручной подсчёт, турникетные системы, данные транзакций по смарт–картам – обладают существенными ограничениями: низкой оперативностью, неполнотой данных о высадке пассажиров, невозможностью работы в условиях переполненного салона. В последние годы всё большее распространение получают системы мониторинга на основе компьютерного зрения, использующие камеры, установленные в салоне транспортного средства, и алгоритмы глубокого обучения для детекции и трекинга пассажиров.

Цель настоящей работы – описать архитектуру интеллектуальной транспортной системы мониторинга пассажиропотоков на основе компьютерного зрения, представить экспериментальные данные о точности современных моделей детекции и продемонстрировать инструменты визуализации результатов [1].

© Крухмалев С. Н., Дорохин С. В., Иванников В. А., Вернигора Е. Р., Крухмалев Д. Н., 2026

Системы учёта пассажиров на основе компьютерного зрения прошли путь от простейших алгоритмов вычитания фона до современных нейросетевых моделей. Nurseitov и коллеги создали систему на базе YOLOv8 и DeepSORT, достигающую 92% точности обнаружения и 85% точности подсчёта на собственном наборе данных из 4047 изображений и 8918 размеченных объектов. Авторы утверждают, что YOLOv8 обеспечивает наилучший баланс между быстродействием, точностью и вычислительной экономичностью по сравнению с Mask R–CNN и DETR.

В исследовании, посвящённом трамвайным станциям, было протестировано несколько версий YOLO (от v3 до v11) на платформе NVIDIA Jetson Nano. Наилучший результат показала YOLOv5s: точность подсчёта достигла 96,85% при приемлемой скорости инференса. Для повышения устойчивости трекинга в переполненном салоне применяется усовершенствованный DeepSORT с улучшенной оценкой состояния ограничивающих рамок на основе фильтра Калмана – это позволяет получить точность статистики входа/выхода пассажиров выше 98% [2].

Архитектура предлагаемой системы мониторинга пассажиропотока включает пять функциональных слоёв, последовательно обрабатывающих видеопоток – от камер до облачной платформы. Схема системы представлена на рис. 1.

Первый слой, отвечающий за сбор данных, включает IP–камеры, размещаемые над дверными проёмами и внутри салона транспортного средства. На втором слое выполняется обнаружение людей с использованием нейросетевой модели YOLO. Третий слой обеспечивает отслеживание пассажиров между кадрами посредством алгоритма DeepSORT. Четвёртый слой реализует логику подсчёта входа и выхода через виртуальную линию. Пятый слой накапливает статистику и передаёт её в облачную платформу по протоколам MQTT или REST API.



Рисунок 1 – Архитектура интеллектуальной транспортной системы мониторинга пассажиропотока
Figure 1 – Architecture of the intelligent transport system for monitoring passenger traffic

Детальная последовательность операций при обработке видеопотока в предлагаемой системе отражена на рис. 2. Каждый входящий кадр претерпевает шесть следующих друг за другом стадий: захват с IP–камеры, предварительную обработку (изменение масштаба и нормализацию), обнаружение людей моделью YOLOv8, сопровождение объектов алгоритмом DeepSORT, фиксацию пересечения виртуальной линии и обновление счётчиков входа/выхода. Когда цикл завершён, система приступает к обработке очередного кадра, чем и обеспечивается непрерывная работа в режиме реального времени [3].

Обнаружение пассажиров в кадре выполняется моделью YOLOv8 – современной одностадийной детекторной архитектурой, дающей высокую точность при невысокой вычислительной нагрузке. В задачах мониторинга пассажиропотока модель обучают на

специализированном наборе данных, который содержит изображения пассажиров в салоне транспортного средства при разнообразных условиях освещения, ракурсах и степени заполненности. Согласно результатам экспериментов, YOLOv8n показывает точность 92,7% при пороге IoU 0,7, а на собственном датасете, включающем 4047 изображений и 8918 объектов, модель YOLOv8 достигла F1–меры 0,90 и mAP@50 = 0,95.

По завершении детекции пассажиров на каждом кадре запускается алгоритм DeepSORT, присваивающий каждому найденному объекту уникальный идентификатор и сопровождающий его перемещение между кадрами. В DeepSORT за оценку состояния ограничивающих рамок отвечает фильтр Калмана, а за извлечение признаков внешнего вида – свёрточная нейронная сеть; это даёт возможность удерживать идентичность объекта при непродолжительных перекрытиях. При плотном пассажиропотоке стандартный DeepSORT способен терять треки вследствие сильных окклюзий, в связи с чем применяют его модификации с усовершенствованной оценкой состояния и адаптивными параметрами сопоставления.

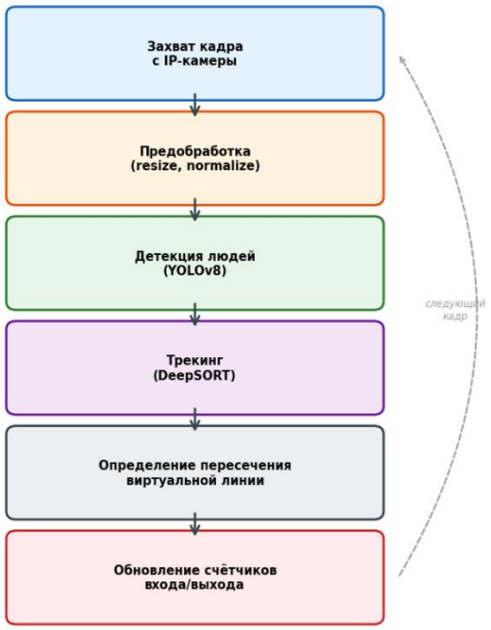


Рисунок 2 – Блок–схема обработки видеопотока в системе мониторинга
Figure 2 – Flowchart of video stream processing in the monitoring system.

Для раздельного подсчёта входящих и выходящих пассажиров задаётся условная линия (или зона обнаружения), привязанная к дверному проёму на кадре. Когда пассажир пересекает эту зону в сторону салона, срабатывает счётчик входа; при пересечении в обратном направлении – счётчик выхода.

При разработке системы необходимо выбрать такую версию YOLO, которая даст оптимальный баланс между точностью подсчёта и скоростью работы на бортовом вычислительном модуле. На рис. 3 приведено сравнение шести модификаций YOLO (v3–v11) по двум основным показателям: точности распознавания пассажиров (левая шкала) и времени инференса на платформе NVIDIA Jetson Nano (правая шкала) [4].

Согласно приведённым данным, наивысшую точность демонстрирует YOLOv5s – 96,85%, при этом время инференса составляет всего 22 мс, что эквивалентно примерно 45 кадрам в секунду. Более ранние YOLOv3 и YOLOv4 проигрывают как по точности (89,2% и 91,5% соответственно), так и по быстродействию. YOLOv8 и YOLOv11 показывают близкие значения точности (95,1% и 95,8%), незначительно уступая YOLOv5s,

однако их архитектура более эффективна. Следовательно, для edge–устройств целесообразно выбирать YOLOv5s, а для серверных решений – YOLOv8.

Для всесторонней оценки качества предложенной системы YOLOv8 + DeepSORT были рассмотрены ключевые метрики, приведённые на рис. 4: точность детекции – 92%, точность подсчёта пассажиропотока – 85%, F1–мера – 90%, mAP@50 – 95% и Precision при IoU = 0,7 – 92,7%. Пунктирная линия, проведённая на уровне 90%, обозначает порог качества, который рекомендуется для практического внедрения подобных систем мониторинга пассажиропотока.

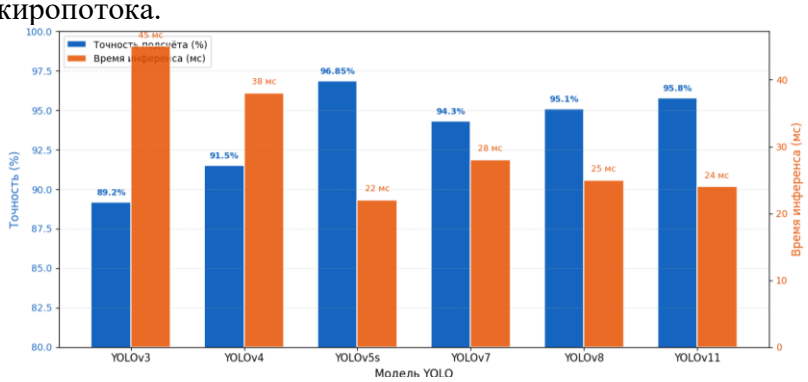


Рисунок 3 – Сопоставление моделей YOLO по точности и быстродействию в задаче подсчёта пассажиров
Figure 3 – Comparison of YOLO models in terms of accuracy and performance in the task of passenger counting

Согласно рис. 4, самое высокое значение среди рассмотренных метрик имеет mAP@50 – 95%, что указывает на хорошее качество локализации объектов (ограничивающих рамок). Самый низкий результат – 85% – зафиксирован для точности подсчёта пассажиров; это объясняется накоплением погрешностей на этапах трекинга и определения направления движения. Именно эта метрика является ключевой для практического применения и определяет дальнейшие пути развития системы: повышение устойчивости алгоритмов трекинга при перекрытиях объектов и адаптацию логики подсчёта к особенностям различных типов подвижного состава.

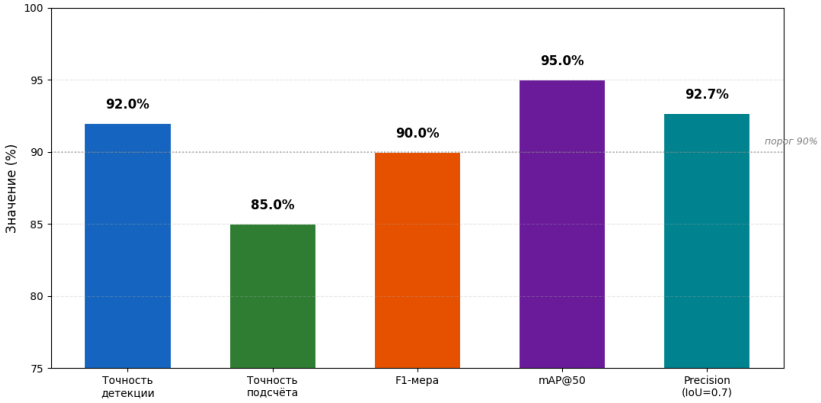


Рисунок 4 – Критерии оценки качества работы системы мониторинга пассажиропотока
Figure 4 – Criteria for assessing the quality of the passenger traffic monitoring system

Одной из значимых прикладных задач системы мониторинга является анализ временной структуры пассажиропотока. На рис. 5 показан типичный суточный график заполненности салона городского автобусного маршрута, построенный на синтетических данных, приближенных к реальной динамике перевозок. В интервале с 05:00 до 23:00 отчётливо выделяются два выраженных пика загрузки – утренний (07:00–09:00) и вечерний (17:00–19:00), которые на графике отмечены цветом [5].

Согласно этим данным, наибольшая заполненность салона в утренние часы достигает примерно 58 человек, а в вечерние – около 52. В период между пиками

(10:00–16:00) количество пассажиров колеблется в пределах 22–30 человек. Такая динамика даёт транспортным операторам возможность расписание: учащать рейсы при повышенном спросе и сокращать их при его спаде. Полученные результаты обладают практической значимостью и представляют собой один из итогов работы описанной системы компьютерного зрения.

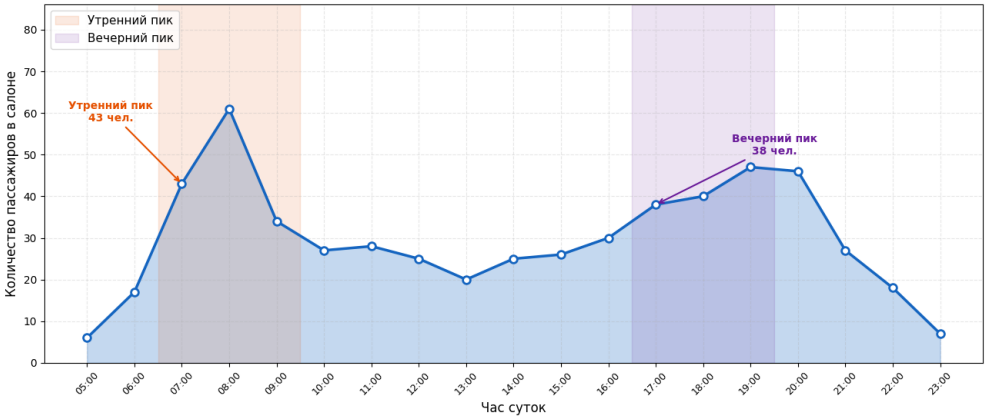


Рисунок 5 – Типовой профиль пассажиропотока городского автобусного маршрута
Figure 5 – Typical passenger flow profile for a city bus route

Обобщив сведения из источников и результаты, представленные на рис. 3–5, можно сделать следующие выводы.

Точность детекции. В современных архитектурах семейства YOLO точность распознавания пассажиров находится в диапазоне 92–96% и зависит от конфигурации нейросети и условий видеосъёмки (рис. 3). Наиболее удачное сочетание точности и вычислительных затрат обеспечивают модели YOLOv5s и YOLOv8n.

Точность подсчёта. Как следует из рис. 4, комбинация YOLOv8 и DeepSORT даёт точность подсчёта 85% в сложных условиях – при перекрытиях объектов и нестабильном освещении. Применение модифицированных версий DeepSORT с более совершенным механизмом оценки состояния объектов позволяет повысить точность учёта входящих и выходящих пассажиров до 98%, что делает такие решения более предпочтительными для практического использования.

Чтобы система работала в режиме реального времени на бортовых вычислительных модулях, необходима скорость обработки не ниже 15–20 кадров в секунду. Как следует из рис. 3, модель YOLOv5s на платформе Jetson Nano обеспечивает указанную скорость, не снижая точности. Дополнительное повышение производительности достигается за счёт квантизации и технологии TensorRT.

Практическая ценность. Изучение суточной динамики пассажиропотока (рис. 5) показывает, что система эффективно определяет утренние и вечерние периоды повышенной загрузки. Это создаёт предпосылки для оптимизации расписания движения и перераспределения транспортных средств между маршрутами.

Практические ограничения. Главные трудности обусловлены значительными перекрытиями объектов при высокой заполненности салона, меняющимся освещением, вибрацией камеры, а также необходимостью сохранять конфиденциальность данных пассажиров. Снизить эти риски позволяет локальная обработка видеопотока непосредственно на борту транспортного средства – без передачи персональных сведений во внешние облачные сервисы.

Заключение

Предложенная архитектура интеллектуальной системы мониторинга пассажиропотока, опирающаяся на технологии компьютерного зрения, сочетает современные методы детекции объектов (YOLO) и трекинга (DeepSORT), а также алгоритм подсчёта входящих и выходящих пассажиров на основе виртуальной линии. Точность подсчёта составляет от 85 до 98% в зависимости от условий эксплуатации, при этом система может быть развёрнута на edge–устройствах, например NVIDIA Jetson Nano.

Дальнейшее развитие системы может включать объединение видеопотоков с нескольких камер для полного обзора салона, применение технологий ре–идентификации пассажиров для восстановления маршрутов их перемещения (формирование матриц корреспонденций), а также дополнительное обучение моделей с учётом специфики конкретных городов и различных типов подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Направления и мероприятия по повышению эффективности функционирования городского общественного транспорта / Р. А. Котов, С. В. Дорохин, Е. В. Чирков, М. А. Синицын // Современные технологии и системы на транспорте: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно–практической конференции, Воронеж, 23–24 апреля 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2026. – С. 117–121. – DOI 10.58168/MTST2026_117–121. – EDN UOBUBB.

2. Дорохин, С. В. Прогнозирование пассажиропотока автобусного транспорта общего пользования в Воронежской области / С. В. Дорохин, Р. А. Котов // Вестник Сибирского государственного автомобильно–дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 6(106). – С. 976–985. – DOI 10.26518/2071–7296–2025–22–6–976–985. – EDN TNYADL.

3. Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы: Учебное пособие / С. В. Жанказиев. – Москва: Московский автомобильно–дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2016. – 120 с.

4. Котов, Р. А. Основные направления оценки эффективности городского общественного транспорта / Р. А. Котов, С. В. Дорохин // Актуальные вопросы административно–правовой деятельности органов внутренних дел : Сборник научных статей научно–практических конференций, Орёл, 21 мая – 27 2025 года. – Орел: Орловский юридический институт МВД РФ им. В.В. Лукьянова, 2025. – С. 46–51. – EDN ERSRGW.

5. Арустамов, Э. А. Проблемы транспортной обеспеченности и качества транспортного обслуживания городских населенных пунктов России различной людности / Э. А. Арустамов, И. Н. Волкова, П. М. Крылов // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 6. – С. 6. – DOI 10.15862/07ECVN620. – EDN SXGHWY.

REFERENCES

1. Directions and measures to improve the efficiency of urban public transport / R. A. Kotov, S. V. Dorokhin, E. V. Chirkow, M. A. Sinitsyn // Modern technologies and systems in transport: problems and prospects: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 23–24, 2026. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2026. – Pp. 117–121. – DOI 10.58168/MTST2026_117–121. – EDN UOBUBB.

2. Dorokhin, S. V. Forecasting passenger traffic on public bus transport in the Voronezh Region / S. V. Dorokhin, R. A. Kotov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University. – 2025. – Vol. 22, No. 6(106). – Pp. 976–985. – DOI 10.26518/2071–7296–2025–22–6–976–985. – EDN TNYADL.

3. Zhankaziev, S. V. Intelligent Transport Systems: A Textbook / S. V. Zhankaziev. – Moscow: Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), 2016. – 120 p.

4. Kotov, R. A. Main Directions for Assessing the Efficiency of Urban Public Transport / R. A. Kotov, S. V. Dorokhin // Current Issues of the Administrative and Legal Activities of Internal Affairs Bodies: Collection of Scientific Articles from Scientific and Practical Conferences, Oryol, May 21 – 27, 2025. – Oryol: Oryol Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.V. Lukyanov, 2025. – Pp. 46–51. – EDN ERSRGW.

5. Arustamov, E. A. Problems of transport provision and the quality of transport services in urban settlements of Russia of various sizes / E. A. Arustamov, I. N. Volkova, P. M. Krylov // Bulletin of Eurasian Science. – 2020. – Vol. 12, No. 6. – P. 6. – DOI 10.15862/07ECVN620. – EDN SXGHWY.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_26-34
УДК 629.331

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕНДЕНЦИИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

С.В. Дорохин[1], Н.А. Загородний[2], А.С. Семыкина[3], А.А. Пестов[4], Р.В. Гринякин[5]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
г. Воронеж, Россия, dsvvrn@yandex.ru
[2]Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия, n.zagorodnij@yandex.ru
[3]Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия, allasemykina1@gmail.com
[4]Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия, a.pestov.a@yandex.ru
[5]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
г. Воронеж, Россия, rv.grinyakin@yandex.ru
Автор, ответственный за переписку: Руслан Валентинович Гринякин, rv.grinyakin@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена связь между функциями мониторинга автопарка и решениями по техническому обслуживанию и ремонту. На основе научных публикаций и описаний программ выделены пять условных функциональных профилей систем. Для оценки прогнозного модуля предложен баланс предотвращаемых потерь и затрат на обработку предупреждений. В условном годовом сценарии более чувствительный режим выявляет два дополнительных истинных события, но требует 60 дополнительных проверок; его расчётный эффект ниже на 120 тыс. руб. Определена стоимость проверки, при которой режимы равноценны. Обсуждаются регистрация диагностических исходов и ограничения переноса расчёта на предприятие. Эксплуатационные испытания не проводились.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, мониторинг транспорта, управление автопарком, прогнозирование отказов, ложные предупреждения, экономический эффект.

TECHNOLOGIES AND TRENDS IN THE OPERATION OF MOTOR VEHICLES AT ENTERPRISES

S.V. Dorokhin[1], N.A. Zagorodny[2], A.S. Semykina[3], A.A. Pestov[4], R.V. Grinyakin[5]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov
Voronezh, Russia, dsvvrn@yandex.ru
[2]V.G. Shukhov Belgorod State Technological University
Belgorod, Russia, n.zagorodnij@yandex.ru
[3]V.G. Shukhov Belgorod State Technological University
Belgorod, Russia, allasemykina1@gmail.com
[4]V.G. Shukhov Belgorod State Technological University
Belgorod, Russia, a.pestov.a@yandex.ru
[5]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov
Voronezh, Russia, rv.grinyakin@yandex.ru
Corresponding author: Ruslan Valentinovich Grinyakin, rv.grinyakin@yandex.ru

Abstract. The relationship between fleet monitoring functions and decisions regarding maintenance and repair is examined. Based on scientific publications and software descriptions, five hypothetical functional system profiles are identified. To evaluate the predictive module, a balance between preventable losses and alert processing costs is proposed. In a hypothetical annual scenario, a more sensitive

© Дорохин С. В., Загородний Н. А., Семыкина А. С., Пестов А. А., Гринякин Р. В., 2026

mode detects two additional true events but requires 60 additional inspections; its calculated net benefit is 120,000 rubles lower. The inspection cost at which the modes are equivalent is determined. The recording of diagnostic outcomes and the limitations of applying these calculations to an actual enterprise are discussed. Operational trials were not conducted.
Keywords: maintenance and repair, vehicle monitoring, fleet management, failure prediction, false warnings, economic impact.

1 Актуальность и постановка задачи

При эксплуатации автомобильного транспорта мониторинг связывает сведения о движении и состоянии машины с решениями по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР). Полученное предупреждение требует проверки, затрат времени персонала, а иногда и вывода автомобиля из работы. Поэтому при расширении системы необходимо сопоставлять ожидаемое сокращение неплановых простоев с дополнительной диагностической нагрузкой. В статье это сопоставление относится к выбору режима прогнозного модуля при соблюдении требований безопасности и регламентов ТО.

Безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость характеризуют разные стороны надёжности объекта [1]. Здесь рассматривается более узкая задача: как предупреждения о техническом состоянии влияют на потери от непланового простоя. Даже верно выявленный дефект может не дать учитываемой экономии, если сигнал поступил поздно или своевременное вмешательство невозможно. Ложные сигналы, в свою очередь, увеличивают объём проверок. Экономический результат такого сопоставления не заменяет оценку безопасности эксплуатации.

Система мониторинга обеспечивает поступление сведений от автомобиля к диспетчеру и технической службе [2]. Дальнейший результат зависит от того, как эти сведения используются при назначении работ. Цель исследования – сопоставить функции систем управления автопарком и определить, при каких условиях дополнительные истинные предупреждения оправдывают затраты на дополнительные проверки. Для этого функциональное сравнение дополнено расчётом двух условных режимов одного прогнозного модуля.

2 Методы исследования и анализ технологий мониторинга

Материалами послужили научные публикации о мониторинге и ТОиР, учебная литература по автомобильной диагностике и открытые описания программных продуктов. Анализ включает функциональное сопоставление систем и условный сценарный расчёт. Для сопоставления использованы три группы признаков: доступные данные, способы назначения обслуживания и обмен с учётными системами. Заявления разработчиков о функциях не используются как доказательство экономического эффекта. На этой основе в разделе 3 сформированы пять условных профилей. В разделе 4 сравниваются два режима предупреждений для одного автопарка при одинаковых наработке и типе рассматриваемого дефекта. Исходные числа заданы авторами; выполнен анализ чувствительности к стоимости проверки. Эксплуатационные испытания и обучение моделей не проводились.

Системы управления автопарком (Fleet Management Systems, FMS) объединяют функции диспетчеризации, мониторинга и эксплуатационного учёта. В описании решения представлены на ресурсе АЙТОБ следующие задачи [3]:

– управление потоком заявок на транспорт;
– учёт технического состояния автомобилей и сроков очередного обслуживания;
– ведение сведений об автомобилях и установленном оборудовании;
– планирование движения и перемещения автомобильного транспорта;
– автоматизированная подготовка путевых листов и учет транспортной работы;
– контроль местоположения, маршрутов, пробега и остановок;
– формирование отчётности о работе транспорта и затратах на его содержание.

Диспетчерские и ремонтные записи следует связывать по единому идентификатору автомобиля. Пробег и моточасы характеризуют его наработку, а история обслуживания показывает, какие операции уже выполнены. Объём перевозок и транспортная работа дополняют эту информацию при анализе загрузки, но не заменяют пробег или время работы двигателя. Различение этих показателей необходимо при назначении ТО и сравнении эксплуатационных затрат.

Эффект внедрения следует оценивать при сопоставимых условиях работы. Например, уменьшение расходов на топливо одновременно со снижением пробега ещё не характеризует результат автоматизации. Для оценки нужны затраты на единицу наработки, длительность и причины простоев, сроки обслуживания. Состав этих показателей предприятие должно определить до начала опытной эксплуатации.

На рисунке 1 показан путь навигационных и диагностических данных. При анализе нужно различать время измерения и время поступления записи на сервер. Если после восстановления связи передаётся накопленная история, её нельзя обрабатывать как последовательность только что возникших событий. Порядок записи и отложенной передачи рассмотрен ниже.

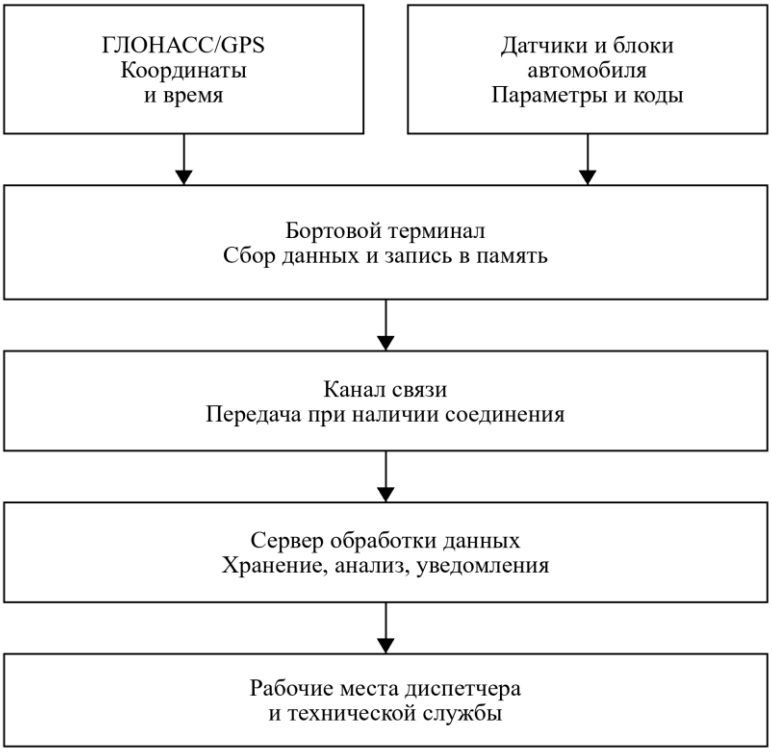


Рисунок 1 – Схема работы системы мониторинга состояния
Figure 1 – Schematic of the condition monitoring system operation

Набор технических параметров определяется установленными датчиками и доступными интерфейсами автомобиля. Поэтому наличие терминала ещё не означает, что сервер получает сведения обо всех агрегатах. При выборе решения состав телеметрии следует сопоставить с конкретными задачами: контроль маршрута требует координат и анализ состояния узла (соответствующих диагностических признаков). Например, MONTRANS Online объединяет контроль движения и топлива с аналитикой эксплуатации [4]; доступность нужных параметров для конкретной машины требует проверки.

Для схемы на рисунке 1 приняты следующие этапы сбора и передачи данных.

1. На автомобиль устанавливают бортовое оборудование: приемник спутниковых сигналов, модуль хранения информации и модуль связи. При необходимости подключают дополнительные датчики и интерфейсы обмена с электронными блоками автомобиля.

2. Приемник ГЛОНАСС/GPS определяет навигационные параметры. Данные об уровне топлива, температуре, давлении и кодах неисправностей поступают от соответствующих датчиков и электронных блоков, в том числе через CAN–шину и поддерживаемые диагностические интерфейсы. Спутниковая навигация сама по себе не измеряет техническое состояние агрегатов.

3. Бортовой терминал записывает измерения с временными отметками и передаёт их по доступному каналу связи. В рассматриваемой схеме предусмотрена память для накопления данных при разрыве соединения с последующей отправкой на сервер [2]. При выборе оборудования требуется проверить объём памяти и возможность такой передачи. Для оперативного контроля важна задержка доставки, а для анализа истории – сохранность и правильный порядок записей.

При работе в условиях нестабильного навигационного сигнала маршрутные данные также требуют контроля качества. Скачки координат и разрывы записи нельзя автоматически трактовать как нарушение маршрута или изменение пробега. При наличии соответствующих интерфейсов целесообразно сопоставлять сведения навигационного приемника с одометром и бортовыми данными, а сомнительные интервалы отмечать в отчете для проверки [5].

Проводной диагностический адаптер с разъёмом OBD–II и кабелем USB иллюстрирует аппаратный интерфейс диагностического подключения; сама фотография не показывает канал передачи данных на удалённый сервер.

Для задач ТОиР из сообщений бортового компьютера существенны те, по которым можно назначить проверку узла [7]. Само появление индикации ещё не устанавливает причину дефекта. А. П. Курулёв и П. П. Стешенко описывают индикацию состояния, запись кодов и передачу диагностических данных внешнему прибору [8, с. 71, 74–75]. При выборе оборудования следует уточнять, какие сведения доступны серверу предприятия: только факт срабатывания или также код, время и параметры работы. От состава передаваемой записи зависит возможность последующего анализа.

Для проверки полезности прогнозных предупреждений измерения необходимо связать с результатами диагностики и выполненными работами. В исследовании [9] обсуждаются неоднородность режимов эксплуатации, редкость отказов и проверка моделей на последующих периодах. Эти ограничения существенны при обучении и оценке моделей по эксплуатационным данным. Поэтому пригодность набора данных определяется не только числом измерений: требуется знать, какие состояния проверены, какие дефекты подтверждены и какие эпизоды остались без установленного исхода.

Традиционные графики ТО основаны на пробеге, наработке или фиксированных временных интервалах. Данные мониторинга позволяют дополнять их обслуживанием по техническому состоянию: назначать диагностику при неблагоприятном изменении параметров и учитывать фактические условия использования автомобиля. Такой подход не означает автоматического увеличения межсервисных интервалов. Решения принимаются с учетом требований изготовителя, результатов диагностирования и ограничений безопасной эксплуатации.

Диагностическое сообщение следует сопоставлять с режимом движения, нагрузкой и результатами диагностирования. Для оценки системы полезно сохранять последовательность событий: время сигнала, назначенную проверку, установленный дефект и выполненное действие. Если история заканчивается уведомлением, остаётся неизвестным, изменило ли оно обслуживание автомобиля.

Функции FMS по контролю эксплуатации могут дополняться средствами управления ремонтами [3, 4]. Для этой задачи применяются системы управления активами (EAM) и техническим обслуживанием (CMMS). В «1С:ТОИР КОРП», например, предусмотрены учёт дефектов, планирование работ по наработке и состоянию, регистрация простоев и затрат [10]. При совместном использовании программ необходимо определить, где создаётся ремонтная заявка и откуда поступает подтверждение её выполнения.

FMS с модулем ТОиР могут формировать напоминания об обслуживании по пробегу, моточасам или календарному сроку [3, 4]. Для расчёта очередной даты или наработки нужно учитывать уже выполненные операции. Если ремонтная служба не передала подтверждение, система может повторно напоминать о завершённой работе. Поэтому настройка уведомлений должна включать проверку обмена с журналом обслуживания.

Контроль расхода топлива является одной из ключевых задач систем управления автопарком. При наличии необходимых датчиков и настроек можно отслеживать заправки, изменения уровня топлива и отклонения расхода [4]. Сигналы о возможном сливе требуют проверки: на измерения могут влиять уклон автомобиля, колебания топлива и погрешности датчика.

Fleetrun служит примером приложения, в котором связаны интервалы обслуживания, выполненные работы и расходы [11]. Затраты следует сопоставлять с наработкой за тот же период. Для записей о просроченном ТО необходимо проверить основание назначения, срок и наличие подтверждения выполнения. Сводная сумма расходов и число просрочек без этих сведений не объясняют причины различий между автомобилями.

Связь подразделений обеспечивается обменом эксплуатационными и ремонтными записями [3, 4, 10]. Диспетчер использует маршрут, остановки и режим движения; технической службе нужны наработка, признаки дефекта и история вмешательств. Совместное использование сведений позволяет уточнять причины неблагоприятных режимов, готовить рекомендации водителю и назначать проверку. Задание, переданное исполнителю через мобильное рабочее место, должно завершаться записью о фактически выполненной операции – иначе система не получает обратной связи для следующего планирования.

Для прогнозных моделей, рассматриваемых в [9,14], важны корректная регистрация событий и проверка качества на последующих периодах. Для цифрового двойника нужна также модель объекта и связь её состояния с наблюдениями. В работе С. П. Орлова и С. В. Сусарева [12–16] предложена архитектура поддержки ТОиР автономных транспортных средств, включающая модели агрегатов, аналитику и имитационное моделирование. Этот пример позволяет проследить связь мониторинга с сервисными подразделениями. Его перенос на другой автопарк требует отдельного обоснования состава моделей и доступных данных [17,18].

На рисунке 2 приведена предложенная в работе [12] архитектура ТОиР, объединяющая мониторинг, моделирование и сервисные подразделения.

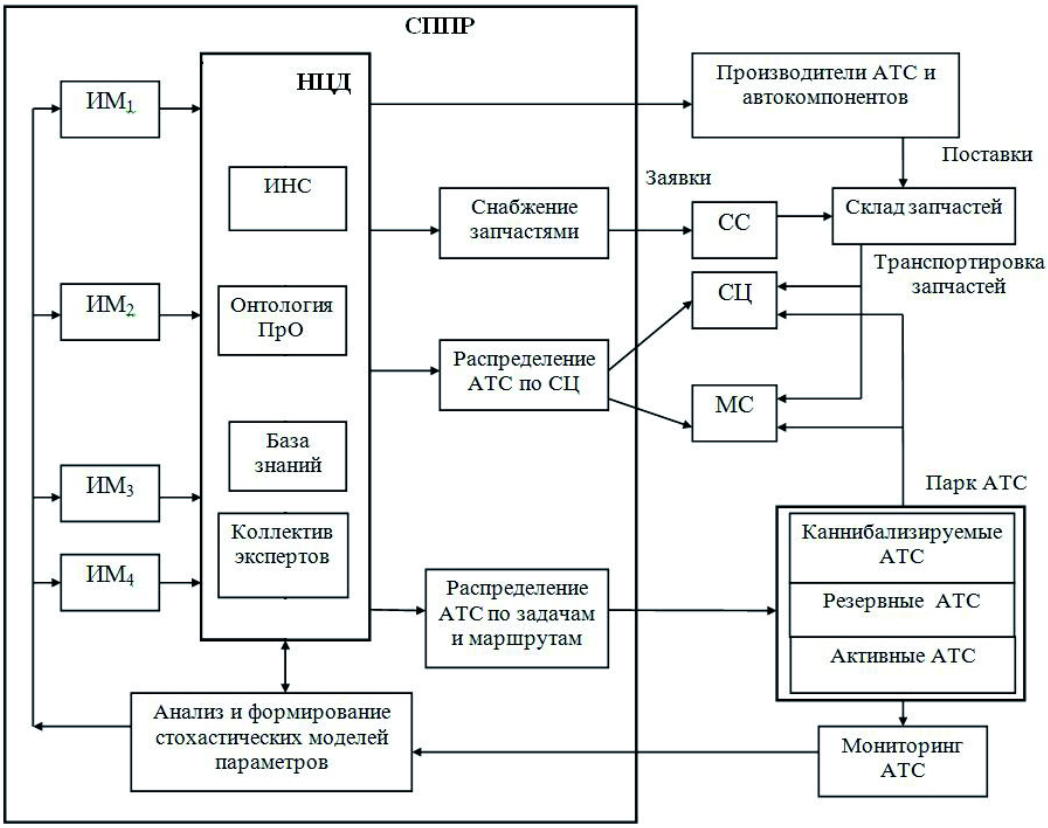


Рисунок 2 – Архитектура ТОиР парка автономных транспортных средств

Источник: С. П. Орлов, С. В. Сусарев [12, с. 427, рис. 2]. CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Воспроизведено без изменения содержания.

Обозначения оригинала: СППР – система поддержки принятия решений; НЦД – нейро–цифровой двойник; ИНС – искусственные нейронные сети; ИМ – имитационные модели; ПрО – предметная область; АТС – автономные транспортные средства; СС – служба управления сервисом; СЦ – сервисный центр; МС – мобильный сервис.

5 Заключение

Пять рассмотренных профилей позволяют определить требуемые функции мониторинга, учёта ТОиР и аналитики. Корпоративная интеграция совместима с любой глубиной анализа данных, поэтому типы А–Д не образуют последовательных уровней качества системы. Функциональное сопоставление и условный расчёт дают следующие выводы.

1. Для перехода от мониторинга к прогнозированию нужны записи о подтверждённых дефектах и выполненных вмешательствах. История измерений без результатов диагностики не позволяет проверить полезность предупреждений. При неоднородных условиях работы требуется также проверка модели на последующих периодах эксплуатации [9].

2. В условном примере два дополнительных истинных предупреждения сопровождаются 58 ложными. Дополнительные проверки обходятся в 240 тыс. руб., а ожидаемое сокращение потерь составляет 120 тыс. руб. Поэтому годовой эффект второго режима равен 100 тыс. руб. против 220 тыс. руб. у первого. При заданных общих параметрах режимы равноценны при стоимости проверки 2 тыс. руб.; эта граница относится только к рассмотренному сценарию.

3. Состав интеграции следует определять по движению ремонтной записи: от сигнала и заявки до результата проверки и затрат. Для выбранных программ необходимо

подтвердить совместимость оборудования, передачу идентификаторов и времени событий, выгрузку истории и разграничение доступа. Такой порядок применим и при локальном, и при облачном размещении данных.

4. Влияние срока предупреждения и возможности вмешательства в расчёте отражает параметр q. Его нельзя заменить долей закрытых заявок: выполненная работа не доказывает, что учитываемая потеря была предотвращена. Случаи с неустановленным исходом должны рассматриваться отдельно от подтверждённых ложных сигналов.

Для проверки схемы в опытной эксплуатации потребуется регистрировать время сигнала и диагностики, установленный дефект, выполненное действие, простой и дополнительные затраты. Эти сведения позволят уточнить число истинных и ложных эпизодов и стоимость проверок. Вероятность предотвращения потерь потребует отдельного обоснования; до его получения расчёт целесообразно проводить для нескольких сценарных значений q.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. Введ. 01.01.2022. URL: https://protect.gost.ru/gost/details/03472a01–804b–48dc–80b1–f157c2efe819 (дата обращения: 06.10.2026).
2. Шибеко Р. В. Система мониторинга автотранспорта // Технические науки в России и за рубежом: материалы VII Междунар. науч. конф. (Москва, ноябрь 2017 г.). М.: Буки–Веди, 2017. С. 51–55. URL: https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/13085/ (дата обращения: 06.10.2026).
3. Fleet management system // АЙТОБ: официальный сайт. URL: https://itob.ru/solutions/fleet_management_systems/ (дата обращения: 06.10.2026).
4. MONTRANS Online – мониторинг транспорта и система управления автопарком // МОНТРАНС: официальный сайт. URL: https://montrans.ru/montrans–online–monitoring–transporta (дата обращения: 06.10.2026).
5. Как получить точные данные о расходе топлива при глушении GPS и расхождениях с одометром // АЙТОБ. 13.05.2026. URL: https://itob.ru/blog/kak–poluchit–tochnye–dannye–o–raskhode–topliva–pri–glushenii–gps–i–raskhozhdeniyakh–s–odometrom/ (дата обращения: 06.10.2026).
6. Schäffer F. Elm327 clone: фотография диагностического адаптера. 2014 // Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elm327_clone.jpg (дата обращения: 06.10.2026). Лицензия CC BY–SA 3.0.
7. Лянденбурский В. В., Шаронов Г. И., Ширшиков А. С. Бортовые компьютеры автомобилей: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2014. 212 с.
8. Курулёв А. П., Стешенко П. П. Диагностика и ремонт электронных систем управления автомобиля: учебно–методическое пособие. Минск: БГУИР, 2024. 136 с. ISBN 978–985–543–700–1. URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/55165/1/Kurulyov_Diagnostika.pdf (дата обращения: 07.10.2026).
9. Формирование подходов предиктивной аналитики ТОиР автомобильного парка на основе выбора моделей и алгоритмов / Ю. А. Заяц, Н. А. Загородний, А. С. Семыкина, А. А. Пестов // Транспортное машиностроение. 2026. № 5. С. 63–73. DOI: 10.30987/2782–5957–2026–5–63–73.
10. 1С:ТОИР Управление ремонтами и обслуживанием оборудования КОРП. Возможности // 1С: официальный сайт. URL: https://solutions.1c.ru/catalog/eam2/features (дата обращения: 06.10.2026).
11. Решение для ремонта и отслеживания ТО автомобилей // БалтАвтоПоиск. URL: https://baltgps.ru/transport/reshenie–dlya–remonta–i–otslezhivaniya–to–avtomobiley/ (дата обращения: 06.10.2026).
12. Орлов С. П., Сусарев С. В. Система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием автономных транспортных средств // Онтология проектирования. 2023. Т. 13, № 3. С. 424–436. DOI: 10.18287/2223–9537–2023–13–3–424–436.

13. Управление ТОиР строительной и специальной техники, автотранспорта – задачи и решение TRIM // НПП «СпецТек». URL: https://trim.ru/otrasl/upravlenie–toir–stroitelnoy–i–specialnoy–tehniki–avtotransporta–zadachi–i–reshenie–trim (дата обращения: 06.10.2026).

14. ISO/TS 15143–3:2020. Earth–moving machinery and mobile road construction machinery – Worksite data exchange – Part 3: Telematics data. URL: https://www.iso.org/standard/76394.html (дата обращения: 06.10.2026).

15. Crespo del Castillo A., Parlikad A. K. Evaluating Investment in Condition Monitoring for Fleet Maintenance // IFAC–PapersOnLine. 2024. Vol. 58, no. 8. P. 377–382. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.08.150.

16. Тормозные системы автомобилей для тяжелых условий эксплуатации: повышение надежности и ресурса при частых торможениях / Р. В. Гринякин, С. В. Дорохин, А. С. Семыкина [и др.] // Современные технологии и системы на транспорте: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно–практической конференции, Воронеж, 23–24 апреля 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2026. – С. 107–111. – DOI 10.58168/MTST2026_107–111. – EDN LDQUJH.

17. Формирование эффективного функционирования транспортно–логистических систем / А. С. Семыкина, Н. А. Загородний, В. А. Лежнева [и др.] // Современные технологии и системы на транспорте: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно–практической конференции, Воронеж, 23–24 апреля 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2026. – С. 168–173. – DOI 10.58168/MTST2026_168–173. – EDN RQYNRM.

18. Формирование подходов предиктивной аналитики ТОИР автомобильного парка на основе выбора моделей и алгоритмов / Ю. А. Заяц, Н. А. Загородний, А. С. Семыкина, А. А. Пестов // Транспортное машиностроение. – 2026. – № 5(53). – С. 63–73. – DOI 10.30987/2782–5957–2026–5–63–73. – EDN IRGFMO.

REFERENCES

1. GOST R 27.102–2021. Reliability in engineering. Reliability of an item. Terms and definitions. Introduced 01.01.2022. URL: https://protect.gost.ru/gost/details/03472a01–804b–48dc–80b1–f157c2efe819 (accessed: 06.10.2026).

2. Shibeko R. V. Vehicle monitoring system // Technical Sciences in Russia and Abroad: Proceedings of the 7th International Scientific Conference (Moscow, November 2017). Moscow: Buki–Vedi, 2017. P. 51–55. URL: https://moluch.ru/conf/tech/archive/286/13085/ (accessed: 06.10.2026).

3. Fleet management system // ITOB: official website. URL: https://itob.ru/solutions/fleet_management_systems/ (accessed: 06.10.2026).

4. MONTRANS Online – transport monitoring and fleet management system // MONTRANS: official website. URL: https://montrans.ru/montrans–online–monitoring–transporta (accessed: 06.10.2026).

5. How to obtain accurate fuel consumption data during GPS jamming and odometer discrepancies // ITOB. 13.05.2026. URL: https://itob.ru/blog/kak–poluchit–tochnye–dannye–o–raskhode–topliva–pri–glushenii–gps–i–raskhozhdeniyakh–s–odometrom/ (accessed: 06.10.2026).

6. Schäffer F. Elm327 clone: photograph of a diagnostic adapter. 2014 // Wikimedia Commons. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elm327_clone.jpg (accessed: 06.10.2026). License CC BY–SA 3.0.

7. Lyandenbursky V. V., Sharonov G. I., Shirshikov A. S. Automotive On–Board Computers: A Textbook. Penza: PGUAS, 2014. 212 p.

8. Kurulyov A. P., Steshenko P. P. Diagnostics and Repair of Automotive Electronic Control Systems: A Teaching Aid. Minsk: BSUIR, 2024. 136 p. ISBN 978–985–543–700–1. URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/55165/1/Kurulyov_Diagnostika.pdf (accessed: 07.10.2026).

9. Developing Approaches to Predictive Analytics for Vehicle Fleet Maintenance and Repair Based on Model and Algorithm Selection / Yu. A. Zayats, N. A. Zagorodny, A. S. Semykina, A. A. Pestov // Transport Engineering. 2026. No. 5. P. 63–73. DOI: 10.30987/2782–5957–2026–5–63–73.

10. 1C:TOIR Equipment Repair and Maintenance Management CORP. Features // 1C: official website. URL: https://solutions.1c.ru/catalog/eam2/features (accessed: 06.10.2026).

11. Solution for vehicle repair and maintenance tracking // BaltAvtoPoisk. URL: https://baltgps.ru/transport/reshenie–dlya–remonta–i–otslezhivaniya–to–avtomobiley/ (accessed: 06.10.2026).

12. Orlov S. P., Susarev S. V. Decision support system for maintenance management of autonomous vehicles // Ontology of Designing. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 424–436. DOI: 10.18287/2223–9537–2023–13–3–424–436.

13. Maintenance and repair management for construction, specialized, and transport machinery – tasks and the TRIM solution // NPP "SpetsTek". URL: https://trim.ru/otrasl/upravlenie–toir–stroitelnoy–i–specialnoy–tehniki–avtotransporta–zadachi–i–reshenie–trim (accessed: 06.10.2026).

14. ISO/TS 15143–3:2020. Earth–moving machinery and mobile road construction machinery – Worksite data exchange – Part 3: Telematics data. URL: https://www.iso.org/standard/76394.html (accessed: 06.10.2026).

15. Crespo del Castillo A., Parlikad A. K. Evaluating Investment in Condition Monitoring for Fleet Maintenance // IFAC–PapersOnLine. 2024. Vol. 58, no. 8. P. 377–382. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.08.150.

16. Braking systems for heavy–duty vehicles: improving reliability and service life under frequent braking conditions / R. V. Grinyakin, S. V. Dorokhin, A. S. Semykina [et al.] // Modern Technologies and Systems in Transport: Problems and Prospects : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 23–24, 2026. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, 2026. – P. 107–111. – DOI 10.58168/MTST2026_107–111. – EDN LDQUJH.

17. Ensuring the effective functioning of transport and logistics systems / A. S. Semykina, N. A. Zagorodny, V. A. Lezhneva [et al.] // Modern Technologies and Systems in Transport: Problems and Prospects : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 23–24, 2026. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, 2026. – P. 168–173. – DOI 10.58168/MTST2026_168–173. – EDN RQYNRM.

18. Development of predictive analytics approaches for vehicle fleet maintenance and repair based on model and algorithm selection / Yu. A. Zayats, N. A. Zagorodny, A. S. Semykina, A. A. Pestov // Transport Engineering. – 2026. – No. 5(53). – P. 63–73. – DOI 10.30987/2782–5957–2026–5–63–73. – EDN IRGFMO.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_35-39
УДК 656.13; 656.051

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Р.А. Котов[1], С.В. Дорохин[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Котов Роман Алексеевич, romankotov–5@yandex.ru

Аннотация. Предложена интеллектуальная система оценки эффективности маршрутной сети городского общественного транспорта на основе маршрутного индекса эффективности (МИЭ), объединяющего транспортно–операционное, социально–территориальное и конкурентное измерения. Апробация на 10 маршрутах г. Воронежа выявила низкую эффективность 7 из 10 направлений (МИЭ ≤ 0,36). Разработана дифференцированная методика применения мероприятий, обеспечивающая рост среднего МИЭ на 47,7% и совокупный социально–экономический эффект 195,6 млн руб./год.

Ключевые слова: городской общественный транспорт, маршрутный индекс эффективности, интеллектуальная транспортная система, приоритезация общественного транспорта, транспортная доступность, конкурентоспособность маршрутов.

INTELLIGENT SYSTEM FOR ASSESSING AND MANAGING THE EFFICIENCY OF THE URBAN PUBLIC TRANSPORT ROUTE NETWORK

R.A. Kotov[1], S.V. Dorokhin[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Kotov Roman Alekseevich, romankotov–5@yandex.ru

Abstract. An intelligent system for assessing the efficiency of the urban public transport route network based on the route efficiency index (REI) integrating operational, socio–territorial and competitive dimensions is proposed. Testing on 10 routes in Voronezh revealed low efficiency of 7 routes (REI ≤ 0.36). A differentiated methodology for implementing improvement measures is developed, providing a 47.7% increase in the average REI and a total socio–economic effect of 195.6 million rubles/year.

Keywords: urban public transport, route efficiency index, intelligent transport system, public transport prioritization, transport accessibility, route competitiveness.

Уровень автомобилизации в городах–миллионниках России к началу 2025 г. превысил 350 ед./1000 жителей [1]. Для Воронежа цифра ещё выше – 374,5 [2]. На этом фоне городской общественный транспорт (ГОТ) теряет пассажиров: время в пути растёт, конкурентоспособность относительно личного автомобиля падает, качество обслуживания не устраивает ни население, ни перевозчиков [1, 2]. Транспортная стратегия РФ до 2030 г. прямо указывает на эту проблему как на ключевую национальную цель, однако меры по приоритизации ГОТ на улично–дорожной сети (УДС) внедряются медленно, а единые подходы к формированию маршрутной сети – в том числе при автоматизированном светофорном управлении – до сих пор не сформированы [3].

© Котов Р. А., Дорохин С. В., 2026

Согласно ранее выполненным исследованиям, эффективность ГОТ сегодня оценивается, как правило, либо по рентабельности перевозчика, либо по агрегированным метрикам – средняя скорость, регулярность, пассажиропоток [4, 5]. Авторы настоящей работы в ходе натурных обследований в Центральном районе Воронежа (апрель–май 2025 г.) столкнулись с тем, что такие показатели не отвечают на главный вопрос: конкурентен ли конкретный маршрут по отношению к личному автомобилю и доступен ли он маломобильным пассажирам? Именно этот пробел – отсутствие маршрутно–ориентированного инструмента, работающего на данных муниципального уровня – и определил цель исследования.

Цель работы – разработка интеллектуальной системы оценки и управления эффективностью маршрутной сети ГОТ на основе маршрутного индекса эффективности (МИЭ), позволяющей обоснованно выбирать мероприятия по повышению качества транспортного обслуживания.

Разработанная интеллектуальная система оценки базируется на трехмерном подходе, интегрирующем транспортно–операционное, социально–территориальное и конкурентное измерения эффективности маршрута (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема интеллектуальной системы оценки эффективности маршрута
Figure 1 – Scheme of an intelligent route efficiency assessment system

Транспортно–операционное измерение характеризует надежность и устойчивость транспортного процесса и включает параметры: средняя эксплуатационная скорость, интервал движения в часы пик, регулярность выполнения рейсов, наличие инфраструктурных мер приоритезации (выделенные полосы, системы приоритетного проезда).

Социально–территориальное измерение отражает степень вписанности маршрута в городскую среду и его доступность для различных групп населения, включая маломобильные группы населения (МГН). Ключевые параметры: доля населения в зоне 5–минутной пешей доступности от остановок, количество ключевых точек притяжения (образовательные, медицинские, административные учреждения), наличие низкопольного подвижного состава.

Конкурентное измерение определяет привлекательность ГОТ относительно личного автотранспорта и включает: время в пути «от двери до двери», соотношение времени ГОТ и личного автотранспорта, стоимость поездки на альтернативных видах транспорта.

На основе 14 параметров, сгруппированных в три измерения, рассчитывается маршрутный индекс эффективности (МИЭ) – нормированный интегральный показатель на шкале [0; 1], где значения ближе к 1 соответствуют высокой эффективности:

$$МИЭ = \omega_1 \cdot I_{техн} + \omega_2 \cdot I_{соц} + \omega_3 \cdot I_{конк}, \quad (1)$$

где $\omega_1 = 0{,}35$, $\omega_2 = 0{,}35$, $\omega_3 = 0{,}30$ – веса измерений, определенные методом экспертных оценок с учетом приоритетов муниципальной транспортной политики; I техн, I соц, I конк – частные индексы по каждому измерению, рассчитанные путем нормализации и взвешивания соответствующих параметров.

Интерпретация значений МИЭ:

– 0,8–1,0 – высокая эффективность (маршрут технически эффективен, социально значим и конкурентоспособен);

– 0,6–0,8 – удовлетворительная эффективность (требуется точечное улучшение по одной или нескольким группам параметров);

– < 0,6 – низкая эффективность (необходима реорганизация или кардинальные изменения на маршруте).

Апробация разработанной интеллектуальной системы оценки выполнена на репрезентативной выборке из 10 маршрутов Центрального района г. Воронежа: 8 автобусных (№ 6, 8, 9КА, 9КС, 21, 32, 52, 59) и 2 троллейбусных (№ 7, 99). Выборка охватывает все функциональные типы маршрутов – радиальные, кольцевые, внутрирайонные и транзитные – и сформирована с учётом социальной значимости, транспортной нагрузки и принадлежности к ключевым коридорам, на которых планируется реализация проекта «метробус» [6–8].

Эмпирические данные по 14 параметрам для каждого маршрута получены на основе натурных обследований (апрель–май 2025 г.), данных АСУ «ГЛОНАСС», ГИС–анализа и открытых навигационных сервисов. На основе нормализации, взвешивания и агрегации рассчитаны частные индексы и общий МИЭ (табл. 1).

Таблица 1 – Маршрутный индекс эффективности исследуемых маршрутов

Table 1 – Route efficiency index of the studied routes

№ маршрута	Тип	$I_{техн}$	$I_{соц}$	$I_{конк}$	МИЭ	Категория
№ 6	Автобус	0,508	0,182	0,093	0,270	Низкая
№ 8	Автобус	0,504	0,191	0,096	0,280	Низкая
№ 59	Автобус	0,487	0,175	0,088	0,250	Низкая
№ 9КА	Автобус	0,581	0,242	0,210	0,590	Низкая
№ 21	Автобус	0,625	0,220	0,242	0,630	Удовлетворительная
№ 32	Автобус	0,642	0,215	0,253	0,670	Удовлетворительная
№ 7	Троллейбус	0,525	0,195	0,132	0,340	Низкая
№ 99	Троллейбус	0,518	0,190	0,135	0,360	Низкая

В результате анализа данных. Представленных в табл. 1 – 7 из 10 маршрутов имеют МИЭ ≤ 0,59 – это зона низкой эффективности. Все радиальные направления (№ 6, 8, 59) и оба троллейбуса (№ 7, 99) «проседают» прежде всего по конкурентному индексу: соотношение времени ОТ/ЛАТ доходит до 1,75. Иными словами, пассажир на автобусе № 6 тратит в 1,75 раза больше времени, чем на автомобиле. Добавьте сюда полное отсутствие низкопольного парка и выделенных полос – и социальный индекс тоже близок к нулю [6].

Короткие внутрирайонные маршруты (№ 21, 32, 52) выглядят лучше: МИЭ = 0,61–0,67. Причина понятна – они не проходят через заторные магистрали, скорость держится на уровне 19,6–21,2 км/ч, а соотношение ОТ/ЛАТ не превышает 1,36.

Предложенная интеллектуальная система на базе МИЭ позволяет перейти от интуитивного управления маршрутной сетью к управлению, опирающемуся на количественные данные. Апробация в Воронеже выявила структурный разрыв: маршруты социально необходимы (связывают жилые массивы с вузами, больницами, центром), но по факту неконкурентоспособны и недоступны для МГН. Комплексное применение дифференцированных мероприятий способно устранить этот разрыв и сформировать эколого–экономический эффект свыше 200 млн руб./год, что подтверждает практическую ценность подхода для городов–миллионников [7].

Разработанная интеллектуальная система оценки эффективности маршрутной сети ГОТ, основанная на маршрутном индексе эффективности, обеспечивает управление эффективностью маршрута на основе данных. Апробация на 10 маршрутах г. Воронежа подтвердила работоспособность методики и выявила структурные диспропорции между социальной значимостью маршрутов и их реальной эффективностью. Применение дифференцированных мероприятий позволяет повысить средний МИЭ на 47,7% и сформировать совокупный эколого–экономический эффект свыше 200 млн руб./год, что обосновывает практическую ценность предложенного подхода для муниципальных транспортных систем городов–миллионников [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363–р. – URL: https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda.

2. Новиков, А. Н. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города / А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – Белгород – Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – 239 с.

3. Investigation of methods for calculating duration of lightsignal regulation cycle / S. V. Dorokhin, V. A. Zelikov, Y. V. Strukov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, 17–20 января 2018 года. Vol. 1015 2. – Bristol: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032128.

4. Дорохин, С. В. Прогнозирование пассажиропотока автобусного транспорта общего пользования в Воронежской области / С. В. Дорохин, Р. А. Котов // Вестник Сибирского государственного автомобильно–дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 6. – С. 976–985.

5. Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие / С. В. Жанказиев. – Москва: МАДИ, 2016. – 120 с.

6. Котов, Р. А. Разработка маршрутного индекса эффективности городского общественного транспорта на основе трёхмерной оценки / Р. А. Котов, С. В. Дорохин // Воронежский научно–технический Вестник. – 2025. – Т. 4, № 4(54). – С. 73–79.

7. Некрасова, Е. Е. Основные критерии оценки эффективности функционирования перекрестков / Е. Е. Некрасова, А. Г. Шевцова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3, № 4–1(15–1). – С. 363–366. – DOI 10.12737/13967.

8. Котов, Р. А. Основные направления оценки эффективности городского общественного транспорта / Р. А. Котов, С. В. Дорохин // Актуальные вопросы административно–правовой деятельности органов внутренних дел : Сборник научных статей научно–практических конференций, Орёл, 21 мая – 27 2025 года. – Орел: Орловский юридический институт МВД РФ им. В. В. Лукьянова, 2025. – С. 46–51.

REFERENCES

1. Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035: approved by Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021, No. 3363-r. – URL: https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda.

2. Novikov, A. N. Ways to Improve the Safety of Public Transport Operations in the Context of Prospective Urban Development / A. N. Novikov, S. V. Eremin, A. G. Shevtsova. – Belgorod – Oryol: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2023. – 239 p.

3. Investigation of methods for calculating the duration of the light signal regulation cycle / S. V. Dorokhin, V. A. Zelikov, Y. V. Strukov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, January 17–20, 2018. Vol. 1015 2. – Bristol: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032128.

4. Dorokhin, S. V. Forecasting passenger traffic on public bus transport in the Voronezh Region / S. V. Dorokhin, R. A. Kotov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. – 2025. – Vol. 22, No. 6. – Pp. 976–985.

5. Zhankaziev, S. V. Intelligent Transport Systems: a textbook / S. V. Zhankaziev. – Moscow: MADI, 2016. – 120 p.

6. Kotov, R. A. Development of a route-based index of the efficiency of urban public transport based on a three-dimensional assessment / R. A. Kotov, S. V. Dorokhin // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2025. – Vol. 4, No. 4(54). – Pp. 73–79.

7. Nekrasova, E. E. Main criteria for assessing the efficiency of intersections' operation / E. E. Nekrasova, A. G. Shevtsova // Current trends in scientific research of the 21st century: theory and practice. – 2015. – Vol. 1, No. 4–1(15–1). – Pp. 363–366. – DOI 10.12737/13967.

8. Kotov, R. A. Main Directions for Assessing the Efficiency of Urban Public Transport / R. A. Kotov, S. V. Dorokhin // Current Issues in the Administrative and Legal Activities of Internal Affairs Bodies: Collection of Scientific Articles from Scientific and Practical Conferences, Oryol, May 21–27, 2025. – Oryol: Oryol Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V. V. Lukyanov, 2025. – Pp. 46–51.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_40-44
УДК 004.89:656.13

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК СТРАНЫ: КАК ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ УПРАВЛЯЕТ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ РОССИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

О.В. Сторожева[1], Д.Р. Панферова[2], С.В. Дорохин[1], А.А. Чепрасова[3]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
г. Воронеж, Россия, e–mail: storogeva2001@gmail.com
г. Воронеж, Россия, e–mail: dsvvrn@yandex.ru
[2] Российский Государственный Гуманитарный Университет
г. Москва, Россия, e–mail: dioraevans@gmail.com
[3] Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко
г. Воронеж, Россия, e–mail: cheprasova_81@mai.ru
Автор, ответственный за переписку: Ольга Владимировна Сторожева, storogeva2001@gmail.com

Аннотация. Данная статья посвящена методологии создания цифрового двойника национальной транспортной инфраструктуры. В общей сложности, представляющей собой, комплексную систему, агрегирующей потоки данных с камер видеонаблюдения и датчиков. Ключевой акцент сделан на использовании способа искусственного интеллекта, который задействуется в интеллектуальном мониторинге и оперативном управлении транспортным потоком в режиме реального времени.

Ключевые слова: наземный транспорт, инновации, искусственный интеллект (ИИ), транспортная система России, городская мобильность, цифровые технологии, интеллектуальные транспортные системы (ИТС), транспортный поток, демография мегаполисов, автомобили.

DIGITAL DOUBLE OF THE COUNTRY: HOW ARTIFICIAL INTELLIGENCE MANAGES RUSSIA'S TRANSPORT FLOWS IN REAL TIME

O.V. Storozheva[1], D.R. Panferova[2], S.V. Dorokhin[1], A.A. Cheprasova[3]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, e–mail: storogeva2001@gmail.com
Voronezh, Russia, e–mail: dsvvrn@yandex.ru
[2] Russian State University for the Humanities
Moscow, Russia, e–mail: dioraevans@gmail.com
[3] Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko
Voronezh, Russia, e–mail: cheprasova_81@mai.ru
Corresponding author: Olga Vladimirovna Storozheva, storogeva2001@gmail.com

Abstract. This article is devoted to the methodology for creating a digital twin of the national transport infrastructure. In total, it represents a comprehensive system that aggregates data flows from surveillance cameras and sensors. The key focus is on the use of artificial intelligence methods, which are employed in intelligent monitoring and real-time operational management of traffic flow.

Keywords: ground transport, innovations, artificial intelligence (AI), Russia's transport system, urban mobility, digital technologies, intelligent transport systems (ITS), traffic flow, megacity demographics, cars.

На фоне стремительного роста автомобильной мобильности в Российской Федерации (РФ), проблема заторов на дорогах, рост трафика, число дорожно–транспортных

© Сторожева О. В., Панферова Д. Р., Дорохин С. В., Чепрасова А. А., 2026

происшествий приобретает все более значительный характер. Увеличение числа частных автомобилей, повышение демографии в мегаполисах, а также расширение пригородных агломераций и нарастание маятниковых миграций, оказывает избыточную нагрузку на транспортную инфраструктуру. Учитывая стратегический характер транспортной сети страны, которая служит целостностью и безопасностью России, классические методы по оптимизации логистического управления утратили свою актуальность [1].

Решением данной проблемы является интеграция цифрового двойника транспортной сети РФ. Под данным термином понимается динамичная виртуальная модель реального объекта, которая в совокупности с искусственным интеллектом, функционирует в режиме реального времени, обмениваясь данными с физическим объектом.

В соответствии с российским стандартом ГОСТ Р 57700.37–2021, который действует с 1 января 2022 года, данный образец стал первым в мире нормативным актом, который утверждает цифровизацию инфраструктуры и методологию принципов создания самой продукции [2].

В контексте транспортной отрасли, интеграция цифрового двойника эволюционировала: от простого смоделированного единичного объекта до комплексной динамичной системы, которая охватывает всю транспортную сеть. Благодаря такому подходу, система способна отражать текущее состояние дорожной ситуации и имитировать развитие событий заранее. Это необходимо для оптимизации трафика и принятия обоснованных управленческих решений.

В основу государственной стратегии Российской Федерации по цифровизации и трансформации транспорта до 2030 года, легла описанная выше идея о технологии цифрового двойника, включающая в себя приоритетные направления: от реализации беспилотного транспорта до формирования цифровых моделей инфраструктурных объектов [3]. Чтобы качественно управлять транспортными системами на региональном уровне понадобится интеграция данных из множества разносторонних источников. В таком случае, цифровой двойник объекта выступает инструментом для решения поставленной задачи, агрегируя потоками данных из нижеуказанных источников:

– телематические данные ГЛОНАСС датчиков коммерческого транспорта;

– комплексы систем видеонаблюдения и дорожных лидаров;

– метеорологические сводки Росгидромета, учитывающие специфику сурового климата Сибири и Крайнего Севера;

– данные транзакции общественного транспорта и платежные системы платных дорог [4].

При помощи специализированных шлюзовых решений осуществляется интеграция региональных интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в единую федеральную сеть, которые гарантируют привязку локальных платформ с федеральной инфраструктурой. Но при этом, данные технологии должны будут учитывать требования протоколов информационной безопасности и установленные стандарты совместимости. В рамках национального проекта 22 региона России в 2020 году получили финансирование на реализацию проекта по интеграции ИТС в размере 3,3 млрд рублей.

Здесь искусственный интеллект выступает не просто калькулятором, а экспертом аналитики, в сравнении с классическими моделями, искусственный интеллект умело выявляет нелинейные зависимости. Наглядным примером является трасса М–11: система предугадывает затор за час до того, как он должен будет сформироваться, сопоставляя данные о загруженности трассы и погодных условий в Тверской области.

В качестве следующего этапа развития технологий искусственного интеллекта и цифровых двойников рассматривается их применение как для прогнозирования дорожной ситуации, так и для моделирования работы транспортной инфраструктуры в целом. Одним из наиболее показательных проектов в данном направлении является цифровой

двойник трассы М–12 «Восток» на участке Москва – Казань протяженностью около 800 км. Планируется, что к концу 2026 г. на трассе будет реализована система, объединяющая виртуальное моделирование инфраструктуры с реальным движением беспилотного транспорта пятого уровня автоматизации, не предусматривающего присутствия водителя в кабине.

Функционирование цифрового двойника основывается на консолидации данных, поступающих из различных источников, таких как, сенсоры интеллектуального дорожного покрытия, видеокамеры, метеорологические станции, спутниковые системы навигации ГЛОНАСС и т.д. Полученная информация обрабатывается и передается беспилотным грузовым транспортным средствам посредством сети 5G. Использование цифрового проводника позволяет проводить тестирование и отработку алгоритмов автономного вождения в виртуальной среде, при этом минимизируя риски для реальной транспортной инфраструктуры, что, в свою очередь, способствует сокращению сроков разработки внедрения новых технологических решений.

Важную роль в формировании цифровой среды мониторинга транспорта играют помимо государственных информационных систем и коммерческие цифровые сервисы. Так, продукты компании «Яндекс» используют обезличенные данные со смартфонов пользователей для определения текущей загруженности дорог. На основе полученной информации уровень заторов отображается на цифровых картах с помощью цветовой индикации. Кроме того, системы способны осуществлять краткосрочное прогнозирование дорожной ситуации примерно на час вперёд, а также анализировать закономерности изменения транспортной нагрузки в зависимости от дня недели и времени суток. Однако использование навигационных сервисов для управления транспортными потоками сопровождаются определёнными ограничениями.

Одной из ключевых проблем является эффект обратной связи: перенаправление автомобилей с перегруженного участка на альтернативные маршруты может привести к их последующей перегрузке. В данных условиях локальные решения проблемы способны сформировать новый затор на соседнем участке транспортной сети. Современные алгоритмы машинного обучения уже позволяют прогнозировать возникновение новых заторов с опережением примерно в 15 минут, при этом подробная информация преимущественно используется для уточнения времени прибытия и построение маршрутов, тогда как возможность её применения для проактивного перераспределения транспортных потоков пока используется ограничено. В связи с этим, перспективным направлением становится объединение ресурсов коммерческих цифровых сервисов с государственными интеллектуальными транспортными системами. Консолидация данных и аналитических инструментов различных участников транспортной отрасли может создать прочную основу для более точного прогнозирования дорожной ситуации и эффективного управления транспортными потоками в режиме реального времени.

Цифровизация затрагивает также и железнодорожную отрасль. Значительный вклад в развитии технологий в сфере железнодорожных перевозок вносит ОАО «РЖД», реализующее проекты на основе искусственного интеллекта и эксплуатирующее интеллектуальные информационные системы. В данном направлении цифровые двойники используются с целью повышения эффективности логистических процессов, например, для прогнозирования загрузки железнодорожной инфраструктуры, формирования оптимальных маршрутов, а также расчёта затрат, связанных с содержанием и эксплуатацией подвижного состава.

Одним из ключевых проектов компании является «Цифровая железнодорожная станция», апробируемая на станции Челябинск–Главный. В рамках проекта технологии искусственного интеллекта используются для автоматизированного построения маршрутов, контроля технического состояния составов с применением компьютерного зрения и

автоматизации операций по расцепке вагонов. В дальнейшем предполагается масштабирование полученного опыта и создание сети цифровых железнодорожных станций с использованием технологий искусственного интеллекта. Повышение эффективности и скорости железнодорожных перевозок обеспечивается комплексным внедрением цифровых технологий. К ним относятся цифровые двойники инфраструктуры и перевозочных процессов, интеллектуальные системы планирования и диспетчеризации, инструменты координации пропускной способности, технологии предиктивного технического обслуживания и автоматизации отдельных операций на железнодорожных узлах.

Таким образом, формирование транспортного цифрового двойника Российской Федерации целесообразно рассматривать в качестве масштабной экосистемы взаимосвязанных цифровых моделей. Такого рода система должна охватывать различные уровни транспортной инфраструктуры, от отдельных магистралей до железнодорожных и городских транспортных сетей федерального и регионального масштаба.

В рамках данной экосистемы искусственный интеллект выполняет несколько взаимосвязанных функций. Предиктивная функция заключается в анализе состояния инфраструктуры и прогнозировании возможных изменений транспортной ситуации. Оптимизационная функция обеспечивает перераспределение транспортных потоков с учётом текущей загрузки сети. Диагностическая функция направлена на своевременное выявление дефектов, неисправностей и нештатных ситуаций. Совокупное применение этих возможностей позволяет перейти от реагирования на уже возникшие проблемы к их предварительному выявлению и предотвращению.

В перспективе развитие интеллектуальных транспортных систем предполагает постепенный переход от отдельных региональных и отраслевых экспериментов к созданию единой национальной цифровой среды, основу которой могут составить федеральные платформы, обеспечивающие взаимодействие региональных, государственных и коммерческих ИТС и позволяющие осуществлять комплексное управление транспортными потоками на различных уровнях. Эффективность такого перехода будет зависеть первостепенно от решения нормативных, организационных, инфраструктурных и технологических вопросов, связанных с интеграцией разнородных информационных систем, а также от развития технологий искусственного интеллекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорохин С.В. Перспективы развития инноваций и цифровой трансформации мирового рынка транспортных услуг / Дорохин С.В., Азарова Н.А. // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте – 2025. Материалы Международной молодежной научно–практической конференции, посвященной 95–летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. – Воронеж. – 2025. – С. 139–143. – DOI: 10.58168/MSTT2025_139–143, EDN: LQFZMR.
2. Сторожева О.В. Цифровизация логистики и грузоперевозок / Сторожева О.В., Дорохин С.В., Чепрасова А.А., Мороз Р.В. // Современные технологии и системы на транспорте: проблемы и перспективы. Материалы Международной научно–практической конференции. Воронеж. – 2026. – С. 178–181. – DOI: 10.58168/MTST2026_178–181, EDN: QVZHKC.
3. Осьминин А. Т. Обзор исследований применения искусственного интеллекта и цифровых двойников для ускорения транспортных потоков на железнодорожном транспорте / Осьминин А. Т., Малахова Т. А., Рящиков А. С., Осьминина И. И. // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2026. – № 1. – С. 36–42. DOI: 10.46973/0201–727X_2026_1_36, EDN: VUOKMS.
4. Акимов, А. Е. Большие данные, искусственный интеллект и облачные технологии: цифровизация железных дорог / А. Е. Акимов // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 3. – С. 150–153. EDN: TZTUEY.

REFERENCES

1. Dorokhin S.V. Perspektivy` razvitiya innovacij i cifrovoj transformacii mirovogo ry`nka transportny`x uslug / Dorokhin S.V., Azarova N.A. // Perspektivy` razvitiya, innovacii i informacionny`e texnologii na transporte – 2025. Materialy` Mezhdu–narodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashhennoj 95–letiyu VGLTU im. G.F. Morozova. – Voronezh. – 2025. – S. 139–143. – DOI: 10.58168/MSTT2025_139–143, EDN: LQFZMR.
2. Storozheva O.V. Cifrovizaciya logistiki i gruzoperevozok / Storozheva O.V., Dorokhin S.V., Cheprasova A.A., Moroz R.V. // Sovremenny`e texnologii i sistemy` na transporte: problemy` i perspektivy`. Materialy` Mezhdunarodnoj nauchno–prakticheskoj konferencii. Voronezh. – 2026.– S. 178–181. – DOI: 10.58168/MTST2026_178–181, EDN: QVZHKC.
3. Os`minin A. T. Obzor issledovanij primeneniya iskusstvennogo intellekta i cifrovy`x dvojnikov dlya uskoreniya transportny`x potokov na zheleznodorozhnom transporte / Os`minin A. T., Malaxova T. A., Ryashhikov A. S., Os`minina I. I. // Vestnik Rostovskogo gosu–darstvennogo universiteta putej soobshheniya. 2026. – № 1. – S. 36–42. DOI: 10.46973/0201–727X_2026_1_36, EDN: VUOKMS.
4. Akimov, A. E. Big Data, Artificial Intelligence and Cloud Technologies: Digitalization of Railways / A. E. Akimov // Innovations and Investments. – 2023. – No. 3. – Pp. 150–153. EDN: TZTUEY.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_45-49
УДК 629.33.083

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИЧИН УТЕЧКИ МОТОРНОГО МАСЛА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПОСЛЕ РЕМОНТА

В.А. Гаркуша[1], Е.В. Снятков[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Виталий Андреевич Гаркуша, Garkusha2162@mail.ru

Аннотация. Исследована внешняя утечка масла после ремонта двигателя Cummins ISX 15 автомобиля Volvo VNM64T610. Визуальным осмотром и контролем плоскостности ГБЦ существенное коробление и признаки повреждения её прокладки не подтверждены. Масляные следы локализованы преимущественно у клапанной крышки; её прокладка использовалась повторно и была неравномерно обработана герметиком. Наиболее вероятна негерметичность клапанной крышки; демонтаж ГБЦ не требуется.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания; техническая диагностика; моторное масло; утечка масла; головка блока цилиндров; клапанная крышка; герметичность; ремонт двигателя; техническое обслуживание.

DIAGNOSTIC ASSESSMENT OF THE CAUSES OF ENGINE OIL LEAKAGE IN THE UPPER PART OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE AFTER REPAIR

V.A. Garkusha[1], E.V. Snyatkov[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Vitaly Andreevich Garkusha, Garkusha2162@mail.ru

Abstract. External engine–oil leakage after repair of a Cummins ISX 15 engine installed in a Volvo VNM64T610 truck was investigated. Visual inspection and cylinder–head flatness control did not confirm significant warpage or typical cylinder–head–gasket failure signs. Oil traces were concentrated near the valve cover, whose gasket had been reused and unevenly treated with sealant. Valve–cover leakage is the most probable cause; cylinder–head removal is not required.

Keywords: internal combustion engine; technical diagnostics; engine oil; oil leakage; cylinder head; valve cover; sealing; engine repair; maintenance.

Введение

Нарушение герметичности соединений двигателя внутреннего сгорания после ремонта относится к типичным задачам технической диагностики. Внешние утечки моторного масла увеличивают расход смазочного материала, загрязняют элементы двигателя и могут маскировать более серьёзные неисправности. ГОСТ 23435–79 предусматривает использование комплекса прямых и косвенных диагностических параметров при оценке технического состояния поршневых ДВС [1]. Современные исследования также подчёркивают необходимость комплексной интерпретации диагностических признаков, а не вывода по одному внешнему симптому [2].

© Гаркуша В. А., Снятков Е. В., 2026

Определение фактического источника утечки осложняется тем, что масло распространяется по поверхности двигателя под действием силы тяжести и воздушных потоков. Поэтому появление масла в зоне стыка блока цилиндров и ГБЦ само по себе не доказывает повреждение прокладки ГБЦ. Для диагностики целесообразен последовательный переход от наружного осмотра и контроля доступных уплотнений к измерениям и разборочным операциям только при наличии объективных оснований.

Цель исследования – установить наиболее вероятную причину утечки моторного масла после ремонтного воздействия на двигатель автомобиля Volvo VNM64T610 и оценить необходимость демонтажа ГБЦ. Для достижения цели анализировались возможные источники утечки в верхней части двигателя, состояние сопрягаемых поверхностей и уплотнений, а выявленные признаки сопоставлялись с характерными проявлениями повреждения прокладки ГБЦ.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся двигатель Cummins ISX 15 грузового автомобиля Volvo VNM64T610. Исходной информацией послужили материалы технического осмотра после текущего ремонта. На момент исследования двигатель был частично разукомплектован, а ГБЦ снята, поэтому динамические испытания и непосредственное измерение давления масла и картерных газов выполнить было невозможно.

Применялись измерительная лупа 10×, оптический микроскоп ММУ–ЗУ4.2, поверочные линейки длиной 1,5 и 0,4 м и набор щупов. Методика включала: внешний осмотр и фиксацию масляных следов; очистку поверхностей ГБЦ; контроль плоскостности привалочной поверхности; анализ локализации следов масла; сопоставление состояния прокладки ГБЦ и прокладки клапанной крышки с технологическими требованиями. Контроль качества привалочных поверхностей является принципиальным для герметичности соединения «блок – прокладка – головка» [5].

При интерпретации результатов учитывалось, что расход картерных газов зависит не только от величины неплотностей цилиндропоршневой группы, поэтому использование этого показателя требует дополнительных параметров контроля [3]. После ремонта и замены элементов цилиндропоршневой группы в период приработки возможны изменения расхода картерных газов, давления и температуры масла [4]. В данном исследовании эта гипотеза рассматривалась как возможный сопутствующий фактор, но не как установленная причина.

Теоретические предпосылки диагностирования

Прокладка ГБЦ герметизирует камеры сгорания, каналы охлаждающей жидкости и масляные каналы. Нарушение её работоспособности обычно сопровождается совокупностью признаков: взаимным проникновением рабочих сред, изменением уровня охлаждающей жидкости, попаданием газов в систему охлаждения, снижением компрессии и иными проявлениями. Конструкция и состояние сопрягаемых поверхностей существенно влияют на надёжность уплотнения [5]. Производители уплотнений также указывают на необходимость соблюдения технологии монтажа и отказа от произвольного применения дополнительных герметизирующих составов там, где они не предусмотрены конструкцией [6].

Прокладка клапанной крышки герметизирует верхнюю часть ГБЦ и непосредственно контактирует с моторным маслом. Потеря эластичности, перекос, неравномерное прижатие и нарушение технологии установки способны вызвать внешнюю течь, которая затем распространяется вниз и визуально имитирует негерметичность нижележащих соединений. При диагностике важно определить наиболее высокую точку появления свежего масла после предварительной очистки двигателя.

Результаты исследования и обсуждение

Перед измерением привалочная поверхность ГБЦ была очищена от накипи, нагара и остатков старой прокладки. Контроль выполнялся поверочными линейками в исследованных направлениях с использованием щупа толщиной 0,015 мм. Щуп не прошёл ни в одной из проверенных плоскостей, что свидетельствует об отсутствии существенного коробления исследованной поверхности ГБЦ. Проверка поверхности блока цилиндров выполнялась только по доступным ортогональным направлениям; диагональные измерения не проводились из–за конструктивных ограничений, связанных с выступающими гильзами.

При осмотре установлено, что следы моторного масла присутствуют преимущественно в верхней части ГБЦ, со стороны клапанной крышки. Следов, однозначно указывающих на выход масла непосредственно через масляные каналы прокладки ГБЦ, не обнаружено. По имеющимся материалам не подтверждены также характерные сопутствующие признаки повреждения прокладки ГБЦ: смешивание масла и охлаждающей жидкости, попадание охлаждающей жидкости в камеру сгорания и снижение компрессии. Обводнение моторного масла может иметь различные причины, поэтому сам факт изменения состояния масла также требует отдельной диагностики [7].

Установлено, что прокладка клапанной крышки при текущем ремонте не заменялась и была дополнительно обработана герметиком, причём слой герметика нанесён неравномерно. Такое состояние создаёт предпосылки для неравномерного прижатия и локальной потери герметичности. По ремонтной технологии замена прокладки клапанной крышки относится к операциям, не требующим демонтажа ГБЦ.

Сопоставление диагностических признаков и возможных причин утечки приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка вероятности причин утечки моторного масла

Table 1 – Assessment of the probability of engine oil leakage causes

Возможная причина	**Диагностический признак**	**Полученные данные**	**Оценка**
Деформация ГБЦ	Отклонение плоскостности	Существенное отклонение не выявлено	Низкая
Повреждение прокладки ГБЦ	Смешивание сред, потеря компрессии	Характерные признаки не подтверждены	Не подтверждена
Повышенное давление масла	Результат измерения давления	Непосредственно не измерялось	Не установлено
Повышенное давление картерных газов	Результат измерения blow–by	Непосредственно не измерялось	Возможно, но не доказано
Негерметичность клапанной крышки	Следы масла в верхней части ГБЦ	Выявлены	Высокая
Ошибка установки прокладки клапанной крышки	Герметик, нарушение технологии	Выявлено	Высокая

Совокупность результатов показывает, что деформация ГБЦ не получила подтверждения, а признаков повреждения прокладки ГБЦ недостаточно для обоснования её

замены. Наиболее вероятной причиной внешней утечки является нарушение герметичности клапанной крышки, связанное с повторным использованием прокладки и неравномерным нанесением герметика. Повышенное давление картерных газов в период приработки могло увеличить нагрузку на ослабленное уплотнение, однако без непосредственного измерения эта гипотеза остаётся недоказанной.

Предлагаемая методика диагностирования

Для аналогичных случаев предлагается последовательность «от менее трудоёмких операций к более трудоёмким»: 1) зафиксировать условия появления и интенсивность утечки; 2) очистить поверхность двигателя; 3) определить наиболее высокую точку появления свежего масла; 4) проверить клапанную крышку, её прокладку и равномерность прижатия; 5) оценить уплотнения распределительных валов; 6) проверить систему вентиляции картера и при возможности измерить давление картерных газов; 7) проверить признаки повреждения прокладки ГБЦ; 8) при наличии оснований проконтролировать плоскостность сопрягаемых поверхностей; 9) установить наиболее вероятный источник негерметичности; 10) назначить минимально необходимое ремонтное воздействие.

Такой порядок снижает вероятность необоснованной разборки исправных узлов. Принципиальным является переход к демонтажу ГБЦ только после подтверждения признаков, которые нельзя объяснить более доступными для проверки источниками утечки.

Ограничения исследования

Достоверность выводов ограничивается частично разукомплектованным состоянием двигателя. Давление масла и картерных газов непосредственно не измерялось, состояние цилиндропоршневой группы не оценивалось полной разборкой, а поверхность блока цилиндров не проверялась по диагоналям. Поэтому вывод о возможном влиянии картерных газов имеет вероятностный характер, тогда как заключение о наиболее вероятном источнике внешней течи основано на морфологии масляных следов и состоянии уплотнения клапанной крышки.

Заключение

1. Внешнее появление масла в зоне соединения блока цилиндров и ГБЦ не является достаточным самостоятельным признаком повреждения прокладки ГБЦ.

2. Существенного нарушения плоскостности исследованной поверхности ГБЦ не выявлено: щуп толщиной 0,015 мм не прошёл ни в одной из проверенных плоскостей.

3. Характерные признаки повреждения прокладки ГБЦ по материалам исследования не подтверждены.

4. Наиболее обоснованной причиной утечки является нарушение герметичности клапанной крышки, связанное с повторным использованием прокладки и неравномерным нанесением герметика.

5. Для устранения выявленной неисправности демонтаж ГБЦ технологически не требуется; диагностирование целесообразно вести от наружных и малотрудоёмких проверок к разборочным операциям только при наличии достаточных оснований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23435–79. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров. – Москва : Издательство стандартов, 1979. – 8 с.

2. Болоев П. А., Миронов Г. Д., Нечкин В. Н., Гергенова Т. П., Бондарчук Е. В., Енина Н. А. Диагностирование двигателя автомобиля по ГОСТу 23435–79 // Вестник БГУ. Химия. Физика. – 2024. – № 4. – С. 38–44. – DOI 10.18101/2306–2363–2024–4–38–44.

3. Воронин Д. М., Долгушин А. А., Курносов А. Ф. Реализация принципов теории размерностей и математического анализа в разработке и оценке способов контроля

герметичности цилиндро–поршневой группы двигателей внутреннего сгорания // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (24). – URL: https://sciup.org/142199280 (дата обращения: 07.10.2026).

4. Карпенко М. А., Карпенко Г. В. Определение качества ускоренной обкатки двигателей по изменению расхода картерных газов, давления и температуры масла // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4 (52). – С. 20–25. – DOI 10.18286/1816–4501–2020–4–20–25.

5. Максаров В. В., Рахманкулов Р. Р. Технология обеспечения качества геометрических параметров при обработке привалочной поверхности блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания // Качество и жизнь. – 2016. – № 3 (11). – URL: https://ql–journal.ru/ru/node/327 (дата обращения: 07.10.2026).

6. ElringKlinger AG. Технология ГБЦ «металл – мягкий материал» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.elring.ru/produkcija/prokladki–gbc/tekhnologija–gbc–metall–mjagkii–material (дата обращения: 07.10.2026).

7. Лаушкин А. В., Хазиев А. А. Причины обводнения моторного масла в эксплуатации // Вестник Московского автомобильно–дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2012. – № 1 (28). – С. 63–67.

REFERENCES

1. GOST 23435–79. Technical diagnosis. Piston internal combustion engines. Nomenclature of diagnosis parameters. Moscow: Izdatelstvo standartov, 1979. 8 p. (In Russ.).

2. Boloev P. A., Mironov G. D., Nechkin V. N., Gergenova T. P., Bondarchuk E. V., Enina N. A. Diagnostirovanie dvigatelya avtomobilya po GOSTu 23435–79 [Automobile engine diagnostics according to GOST 23435–79]. Vestnik BGU. Khimiya. Fizika, 2024, no. 4, pp. 38–44. DOI: 10.18101/2306–2363–2024–4–38–44. (In Russ.).

3. Voronin D. M., Dolgushin A. A., Kurnosov A. F. The implementation of the principles of the theory of dimensions and mathematical analysis in the development and evaluation of methods of control of tightness of the cylinder–piston group of internal combustion engines. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2016, no. 4 (24). Available at: https://sciup.org/142199280 (accessed 07.10.2026). (In Russ.).

4. Karpenko M. A., Karpenko G. V. Determination of the quality of rapid engine break–in by changing the crankcase gas flow rate, oil pressure and temperature. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii, 2020, no. 4 (52), pp. 20–25. DOI: 10.18286/1816–4501–2020–4–20–25. (In Russ.).

5. Maksarov V. V., Rakhmankulov R. R. Technology for ensuring the quality of geometrical parameters in machining the mating surface of an internal combustion engine cylinder block. Kachestvo i zhizn, 2016, no. 3 (11). Available at: https://ql–journal.ru/ru/node/327 (accessed 07.10.2026). (In Russ.).

6. ElringKlinger AG. Metal–soft material cylinder–head–gasket technology. Available at: https://www.elring.ru/produkcija/prokladki–gbc/tekhnologija–gbc–metall–mjagkii–material (accessed 07.10.2026).

7. Laushkin A. V., Khaziev A. A. Causes of engine–oil water contamination in service. Vestnik Moskovskogo avtomobilno–dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI), 2012, no. 1 (28), pp. 63–67. (In Russ.).

DOI: 10.58168/DPIITT2026_50-55
УДК 621.793.74:621.791.927.55

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В.А. Чухлебов[1], Е.В. Снятков[1], Ф.А. Шакина[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Валерий Александрович Чухлебов, chuhlebov9936@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены способы зарядки электромобилей, применяемые в России и за рубежом. Систематизированы и проанализированы существующие технологии зарядки тяговых аккумуляторных батарей, включая быстрый, среднескоростной и медленный типы. Особое внимание уделено беспроводным методам передачи энергии, основанным на индуктивной и магнитно-резонансной связи. Исследовано влияние электромагнитного поля на организм человека. Приведены результаты полевых испытаний беспроводных зарядных систем, подтверждающие их высокую эффективность. Полученные выводы могут быть использованы для дальнейшего развития зарядной инфраструктуры электромобилей в России.

Ключевые слова: электромобиль, беспроводная зарядка, батарея, аккумулятор, автомобиль, электробус, электрогрузовик, зарядная станция, индукция, магнитно–резонансная связь, динамическая подзарядка, экологический транспорт, энергоэффективность.

IMPROVEMENT OF THE CHARGING SYSTEM ELECTRIC VEHICLE INFRASTRUCTURE

V.A. Chuhlebov[1], E.V. Snyatkov[1], F.A. Shakina
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Valery Alexandrovich Chukhlebov, chuhlebov9936@mail.ru

Abstract. This article describes methods for charging electric vehicles. Existing charging methods used in Russia are identified and reviewed. Wireless vehicle charging technologies and their impact on humans are analyzed. The resulting analysis can be used for the further development of electric vehicle charging in Russia.

Keywords: electric vehicle, wireless charging, battery, accumulator, automobile, electric bus, electric truck, charging station, induction, magnetic resonance coupling, dynamic charging, ecological transport, energy efficiency.

В мире на данный момент эксплуатируется большое количество автотранспорта на него также уходит более 20 % от мирового количества энергии. Стоит также отметить, что для выработки этой энергии на потребление автомобильным транспортом уходит до 60 % от мировой добычи нефти.

Двигатели внутреннего сгорания, установленные на автомобилях, выбрасывают вредные вещества в атмосферу. С приходом новых более совершенных технологий производители уменьшали выбросы ДВС и повышали экологичность, но этого было недостаточно. Влияние автомобилей с ДВС на экологию привело к зарождению электрического транспорта, где вместо стандартного двигателя, работающего на жидком топливе, были установлены электромотор и аккумуляторная батарея.

© Чухлебов В. А., Снятков Е. В., Шакина Ф. А., 2026

Постепенно электромобили заняли прочную нишу в сфере колёсного транспорта. Постоянный рост их количества на дорогах общего пользования выявил для водителей вопрос эффективной и быстрой зарядки батареи. Вторая, не менее важная проблема заключается в росте нагрузки на электрическую инфраструктуру, которая не может справиться с увеличением автопарка. Почти все люди, которые владеют, электрическими автомобилями пользуются зарядкой с помощью кабеля. В данном случае они могут быть очень опасными во время плохих погодных условий по причине высокого напряжения. К этому можно добавить появление искры при манипуляциях с разъёмами кабеля питания, что делает практически невозможным применение в определённых местах, где искра от электромобиля может привести к катастрофе. Помимо всего прочего, данная система относительно громоздкая. Для данных проблем существует решение – беспроводная зарядка электромобиля.

Следует отметить, что развитие электротранспорта является одним из приоритетных направлений в рамках концепции устойчивого развития, принятой на международном уровне. Многие страны декларируют переход к углеродной нейтральности к середине текущего столетия, и электрификация транспортного сектора рассматривается как ключевой инструмент достижения этой цели. В России, несмотря на значительные запасы углеводородов, также наблюдается устойчивый интерес к развитию электротранспорта, что подтверждается принятием ряда нормативных документов и запуском пилотных проектов в крупных городах.

Всего на данный момент имеется три типа зарядки электромобиля: быстрая, средняя и медленная. Основное их отличие заключается в выходной мощности и времени полного заряда батареи.

Здесь либо вместе с обычной АЗС, либо отдельно расположены зарядные станции на несколько автомобилей. Транспорт подъезжает на машиноместо к специальному устройству, водитель подсоединяет провод к автомобилю, и идёт процесс зарядки. Здесь действия водителя аналогичны обычной заправке автомобиля с ДВС. Зарядные станции в России уже открылись в крупных городах и на автомагистралях. Быстрая зарядка работает на высоких мощностях на переменных или постоянных токах. Это даёт возможность зарядить батарею за короткий срок.

Для электромобиля последнего поколения время зарядки через быстрое устройство мощность которого составляет, 50 кВт происходит в среднем за один час. Этот процесс так же может занимать и быстрее. Существуют автомобили батареи, которых могут заряжаться до 80% за 20 минут. От того, насколько мощное зарядное устройство, зависит доступное наименьшее время заряда. Не стоит забывать и про замедление зарядки по мере приближения к стопроцентному уровню.

На станциях быстрой зарядки все устройства имеют свои кабели, что ограничивает использование данного типа зарядки только в рамках электромобилей, где такая функция возможна с завода.

Что касается среднескоростных устройств для зарядки, то они работают при мощности 7 или 22 кВт. Основная масса среднескоростных устройств работает с переменным током, но есть и зарядки с постоянным током, работающие на мощности 25 кВт. Здесь применяются разъёмы в основном CHAdeMO или CCS. Зарядка до полного уровня может отличаться по времени в зависимости от параметров самого электромобиля и зарядного. Если взять автомобиль с аккумулятором на 40 кВт·ч, то до уровня в 100 % при мощности устройства 7 кВт он дойдёт за 4–6 часов, а при 22 кВт подобный аккумулятор набирает полный заряд за 1–2 часа. Зарядные устройства средние по скорости в основном находятся в таких местах, где владелец может оставить стоять электромобиль на час или более.

Если на зарядной станции устройство уже имеет провод, то с помощью его получится подсоединить только к тем электромобилям, где данный тип разъёма применяется. В качестве примера рассмотрим японский электромобиль Nissan Leaf. Автомобиль первого поколения заряжается кабелем со входом под разъём Type 1. Следующее, второе поколение электромобиля использует уже кабели с другим разъёмом Type 2.

Устройства без подсоединённого провода являются более оптимальными и могут заряжать любой автомобиль, где установлен соответствующий разъём. Скорость и время зарядки средним устройством зависит от бортового зарядного устройства на электромобиле.

Без разницы, какой автомобиль подсоединяется к устройству, зарядка батареи будет идти при максимальной мощности, при которой может работать бортовое зарядное устройство электромобиля. Вернёмся к тому же Nissan Leaf. На нём бортовая зарядка может работать при максимальной мощности в 3,3 кВт. Аккумулятор не будет использовать мощность тока выше той, которую выдаёт точки зарядки мощности. Если мы обратим внимание на электромобили марки Tesla, то мы узнаем, что на них зарядные устройства работают при мощности 11 кВт или 22 кВт, но с помощью него невозможно зарядить электромобили других брендов. Для подобных случаев сторонние компании выпускают переходники с зарядного разъёма Tesla на зарядные разъёмы Type 1 или Type 2.

Очень распространены устройства медленной зарядки. Данный способ используется многими владельцами электромобилей, живущими в частном секторе. В таком случае вечером электромобиль заезжает на участок, где за ночь полностью заряжается. Владельцы, живущие в многоквартирных домах, могут поставить электромобиль у себя под окнами и вывести провод из своей квартиры на первом этаже. Тем не менее медленные устройства зарядки аналогично имеют общедоступные точки на рабочем или в общественных местах. Стоит отметить, что медленные зарядные устройства встречаются реже и уходят в прошлое, не выдерживая конкуренции с быстрыми и средними устройствами по скорости зарядки.

Время и скорость медленного типа зарядки отличается и имеет зависимость от параметров электромобиля и самого устройства. При мощности зарядки батареи в размере 3 кВт полный уровень достигается за 6–12 часов. Для подключения электромобиля к большинству медленных зарядных устройств обязательно понадобится специальный кабель.

Отдельное внимание стоит уделить примеру ультрабыстрой зарядки. Данный способ уже давно применяется на московских электробусах. На конечной станции водитель загоняет транспортное средство под специальное зарядное устройство и поднимает пантограф. Данный способ позволяет зарядить литий–ионный аккумулятор менее чем за полчаса. Ультрабыстрая зарядка работает в любую погоду и подходит для разных моделей электробусов. Помимо этого, подобные зарядные станции могут располагаться на определённых точках по маршруту следования электробуса.

Таким образом, существующая классификация способов зарядки электромобилей охватывает широкий диапазон мощностей и условий эксплуатации. Однако все рассмотренные методы объединены одним общим недостатком – необходимостью физического контакта между зарядным устройством и транспортным средством. Именно этот недостаток призваны устранить технологии беспроводной передачи энергии.

Прогресс не стоит на месте, и инженеры разработали систему беспроводной зарядки автомобиля. Внутри дорожного полотна лежит специальное индукционное устройство. Проезжая по такой дороге, электромобиль сможет получать заряд во время движения, но при условии, что под днищем у него расположено специальное устройство, способное принимать заряд от устройства под асфальтом.

Магнитно-резонансное поле обеспечивает передачу энергии между отправляющим устройством под дорожным полотном и принимающим устройством на электромобиле. Энергия идёт по воздушному просвету между передающим и принимающим узлами, после этого из переменного тока преобразуется в постоянный через специальное устройство, установленное на автомобиле, и доходит до батареи. К плюсам беспроводной зарядки можно отнести такие положительные качества, как энергоэффективность и безопасность.

С целью исследования эффективности системы были проведены полевые испытания было выбрано расстояние между передающим и принимающим устройствами, равное 250 мм. По итогу исследований на практике была выявлена эффективность системы бесконтактной зарядки на уровне 92 процентов, аналогичном обычному контактному зарядному устройству.

Беспроводная передача энергии может обеспечивать динамическую зарядку, или, другими словами, заряжать батарею электромобиля прямо во время движения на обычной скорости. Помимо этого, в случае с грузовыми электромобилями аккумулятор может заряжаться на время ночной стоянки транспорта.

Следует подчеркнуть, что беспроводные системы зарядки подразделяются на два основных типа: статические и динамические. Статические системы предполагают зарядку транспортного средства во время стоянки на специально оборудованном парковочном месте. Динамические системы, в свою очередь, обеспечивают подзарядку батареи непосредственно в процессе движения по оснащённому участку дороги. Каждый из этих типов имеет свои преимущества и ограничения. Статические системы проще в реализации и требуют меньших капиталовложений, тогда как динамические системы открывают принципиально новые возможности для увеличения запаса хода электромобилей без необходимости увеличения ёмкости аккумуляторной батареи.

Кроме того, важным направлением исследований является повышение КПД беспроводной передачи энергии. Современные системы демонстрируют эффективность, сопоставимую с проводными аналогами, однако при увеличении расстояния между катушками КПД снижается. В настоящее время идет работа над созданием систем, способных передавать энергию на расстояние до нескольких десятков сантиметров без существенных потерь. Это позволило бы размещать приёмное устройство не только под днищем автомобиля, но и в других удобных местах, что особенно актуально для грузового электротранспорта и электробусов.

Не менее важным аспектом является стандартизация беспроводных зарядных систем. В настоящее время ведутся работы по созданию единых международных стандартов, которые позволили бы использовать зарядные станции одного производителя для автомобилей различных марок. Это существенно повысило бы удобство эксплуатации электротранспорта и ускорило бы развитие зарядной инфраструктуры.

В городских условиях беспроводная зарядка для электромобиля намного лучше, чем обычное контактное зарядное устройство. Одна из основных причин этого в том, что на парковочном пространстве отсутствует дополнительная инфраструктура, которая нужна для проводной зарядки.

В бесконтактной зарядке нет каких–либо проводов, что показывает отсутствии возможности владельцу автомобиля случайно соприкоснуться с токопроводящими частями провода зарядки автомобиля, через которые проходит высокое напряжение в размере сотен вольт.

Для водителя данная особенность создаёт дополнительное удобство при эксплуатации транспортного средства. Большую часть времени в течение суток автомобиль стоит на парковке, а в это время батарея электромобиля подзаряжается.

На основе испытаний беспроводных зарядных устройств, было установлено, что данный индуктивный способ для зарядки автомобиля лучше подходит. Основное преимущество у этой системы в том, что у них область приёма–передачи электроэнергии в пределах нескольких десятков сантиметров, что даёт возможность электричеству преодолеть промежуток между дорожным покрытием с отправителем энергии и днищем автомобиля с приёмником энергии.

Таким образом, бесконтактная зарядка автомобилей является перспективным направлением развития зарядной инфраструктуры, которое способно решить целый комплекс проблем, связанных с эксплуатацией электротранспорта. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на повышение показателей эффективности передачи энергии, снижение стоимости оборудования и разработку единых стандартов, обеспечивающих совместимость различных систем. Реализация этих задач позволит создать комфортную и безопасную среду для массового применения электромобилей, что, поспособствует значительному вклад в решение глобальных проблем и достижение целей устойчивого развития автомобилей с электрическим двигателем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисов, А. А. Обзор способов передачи энергии для беспроводной зарядки электромобилей / А. А. Лисов // Энерго– и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере. – 2023. – Т. 11, № 1. – С. 33–35.

2. Мещерякова, О. В. Перспективы и тенденции развития электротранспорта с бесконтактной системой электроснабжения / О. В. Мещерякова, В. Н. Мещеряков, С. С. Валтчев // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. – 2018. – Т. 1. – С. 235–241.

3. Лямзина, Д. Ю. Перспективы разработки методологии проектирования силовой электроники и системы катушек для индуктивной зарядной системы для электромобилей / Д. Ю. Лямзина. – Казань : КГЭУ, 2023. – (Текст : непосредственный).

4. Сафин, А. Р. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей / А. Р. Сафин, И. В. Ившин, А. Н. Цветков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 5. – С. 100–114.

5. Муранская, И. С. Зарядная инфраструктура для электротранспорта / И. С. Муранская // Байкальская наука: идеи, инновации, инвестиции. – 2022. – Т. 1. – С. 147–154.

6. Курмашев, А. Н. Анализ и модернизация беспроводных зарядных устройств для электромобилей / А. Н. Курмашев, А. П. Петров // Молодёжь и наука–2024: двигатель настоящего и залог успешного будущего. – 2024. – Т. 1. – С. 222–226.

7. Кулаков, А. Д. Проблемы при эксплуатации электромобилей и их решение / А. Д. Кулаков // Интернаука. – 2025. – № 23–3 (387). – С. 20–21.

8. Саниева, А. Д. Технологии беспроводной передачи электроэнергии: перспективы и ограничения / А. Д. Саниева // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 9, № 11 (152). – С. 119–125.

9. Исмагилов, Т. А. Беспроводные электрозаправочные станции – путь к развитию / Т. А. Исмагилов. – Казань : КНИТУ–КАИ им. А. Н. Туполева, 2021.

10. Компоновочные схемы зон для зарядки электромобилей / Е. В. Снятков, С. В. Дорохин, В. Р. Хлистун, И. А. Кириченко // Современные системы и технологии на транспорте: проблемы и перспективы : материалы Международной научно–практической конференции, посвященной 95–летию ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова (Воронеж, 24–25 апреля 2025 г.). – Воронеж : ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 2025. – С. 229–233.

11. Кириченко, И. А. Обоснование применения модульных зарядных устройств подземного расположения / И. А. Кириченко, Е. В. Снятков, Е. А. Маклакова // Наука преображает реальность – 2025 : материалы Международной междисциплинарной научно–практической конференции (Воронеж, 01–03 апреля 2025 г.). – Воронеж : ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 2025. – С. 69–75.

12. Обоснование применения зарядного манипулятора для электромобилей / И. А. Кириченко, В. Р. Хлистун, Е. В. Снятков [и др.] // Современные технологии и системы на транспорте: проблемы и перспективы : материалы Международной научно–практической конференции (Воронеж, 23–24 апреля 2026 г.). – Воронеж : ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова, 2026. – С. 210–213.

13. Снятков, Е. В. К вопросу обоснования компоновочной схемы для зоны зарядки электромобилей / Е. В. Снятков, В. Р. Хлистун, И. А. Кириченко // Воронежский научно–технический вестник. – 2025. – Т. 4, № 4 (54). – С. 119–127.

14. 4. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197–ФЗ (ред. от 28.12.2024), статья 2.

REFERENCES

1. Lisov, A. A. Overview of energy transmission methods for wireless charging of electric vehicles / A. A. Lisov // Energy and resource conservation in the thermal power industry and the social sphere. – 2023. – Vol. 11, No. 1. – Pp. 33–35.

2. Meshcheryakova, O. V. Prospects and trends in the development of electric transport with a contactless power supply system / O. V. Meshcheryakova, V. N. Meshcheryakov, S. S. Valtchev // Infocommunication and Intelligent Technologies in Transport. – 2018. – Vol. 1. – Pp. 235–241.

3. Lyamzina, D. Yu. Prospects for Developing a Methodology for Designing Power Electronics and Coil Systems for an Inductive Charging System for Electric Vehicles / D. Yu. Lyamzina. – Kazan: KSPEU, 2023. – (Text: direct).

4. Safin, A. R. Development of mobile charging station technology for electric vehicles / A. R. Safin, I. V. Ivshin, A. N. Tsvetkov [et al.] // Proceedings of Higher Educational Institutions. Energy Problems. – 2021. – Vol. 23, No. 5. – Pp. 100–114.

5. Muranskaya, I. S. Charging infrastructure for electric transport / I. S. Muranskaya // Baikal Science: Ideas, Innovations, Investments. – 2022. – Vol. 1. – Pp. 147–154.

6. Kurmashev, A. N. Analysis and modernization of wireless charging devices for electric vehicles / A. N. Kurmashev, A. P. Petrov // Youth and Science–2024: the engine of the present and the key to a successful future. – 2024. – Vol. 1. – Pp. 222–226.

7. Kulakov, A. D. Problems in the operation of electric vehicles and their solutions / A. D. Kulakov // Internauka. – 2025. – No. 23–3 (387). – Pp. 20–21.

8. Sanieva, A. D. Technologies for wireless power transmission: prospects and limitations / A. D. Sanieva // Economics and Management: Problems, Solutions. – 2024. – Vol. 9, No. 11 (152). – Pp. 119–125.

9. Ismagilov, T. A. Wireless electric charging stations – the path to development / T. A. Ismagilov. – Kazan: KNRTU–KAI named after A. N. Tupolev, 2021.

10. Layout schemes of zones for charging electric vehicles / E. V. Snyatkov, S. V. Dorokhin, V. R. Hlistun, I. A. Kirichenko // Modern systems and technologies in transport: problems and prospects : materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of the VGLTU named after G. F. Morozov (Voronezh, 24–25 April 2025). Voronezh : VGLTU named after G. F. Morozov, 2025. pp. 229–233.

11. Kirichenko, I. A. Justification for the use of modular underground charging devices / I. A. Kirichenko, E. V. Snyatkov, E. A. Maklakova // Science Transforms Reality – 2025: Proceedings of the International Interdisciplinary Scientific and Practical Conference (Voronezh, April 1–3, 2025). – Voronezh: Voronezh State Forest Technical University named after G. F. Morozov, 2025. – Pp. 69–75.

12. Justification for the use of a charging manipulator for electric vehicles / I. A. Kirichenko, V. R. Khlistun, E. V. Snyatkov [et al.] // Modern Technologies and Systems in Transport: Problems and Prospects: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Voronezh, April 23–24, 2026). – Voronezh: Voronezh State Forest Technical University named after G. F. Morozov, 2026. – Pp. 210–213.

13. Snyatkov, E. V. On the issue of justifying the layout scheme for an electric vehicle charging zone / E. V. Snyatkov, V. R. Khlistun, I. A. Kirichenko // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2025. – Vol. 4, No. 4 (54). – Pp. 119–127.

14. «Labor Code of the Russian Federation» dated 12/30/2001 N 197–FZ (as amended on 12/28/2024), Article 2.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_56-59
УДК 656.13.05

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИТС НА АВАРИЙНОСТЬ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ

К.А. Бычкова[1], О.Ю. Нечаев[1], А.Г. Шевцова[1]
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия
christosh3003@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается проблема обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) в условиях стремительной урбанизации и роста автомобилизации городских агломераций. Предложена научно–методологическая основа комплексной оценки влияния элементов интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на уровень аварийности, базирующаяся на интеграции макромоделей транспортных потоков и микромоделирования транспортных конфликтов.
Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, безопасность дорожного движения, городская агломерация, адаптивное светофорное регулирование, параметр скользкости, транспортный конфликт.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ITS ELEMENTS ON ACCIDENT RATES IN URBAN AGGLOMERATIONS

C.A. Bychkova[1], O.Yu. Nechaev[1], A.G. Shevtsova[1]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
christosh3003@gmail.com

Abstract. The article addresses the issue of ensuring road safety amidst rapid urbanization and rising motorization in urban agglomerations. A scientific and methodological framework is proposed for the comprehensive assessment of how Intelligent Transport System (ITS) elements influence accident rates; this framework is based on integrating traffic flow macromodels with the micromodeling of traffic conflicts.
Keywords: intelligent transport systems, road safety, urban agglomeration, adaptive traffic signal control, slipperiness parameter, traffic conflict.

Вопрос обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) на протяжении последних десятилетий остается одной из наиболее острых социально–экономических проблем государственного масштаба. Транспортный комплекс, пронизывающий все без исключения сферы жизнедеятельности общества, выступает источником повышенной опасности. Ежегодно в Российской Федерации в результате дорожно–транспортных происшествий (ДТП) погибает и получает ранения свыше 275 тыс. человек, а макроэкономический ущерб от аварийности составляет порядка 2,5% ВВП страны [1]. В условиях глобальной урбанизации и концентрации населения в городских агломерациях традиционные экстенсивные методы развития улично–дорожной сети (УДС) исчерпали свой ресурс. Ответом на эти вызовы стала концепция «нулевой смертности» (Vision Zero), активно реализуемая в мире и нашедшая отражение в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года, а также в национальном проекте «Безопасные качественные дороги» [2; 3].

© Бычкова К. А., Нечаев О. Ю., Шевцова А. Г., 2026

Анализ ретроспективных данных показывает, что структура аварийности имеет устойчивый характер. Еще в начале 2010–х годов статистика указывала, что наибольшее количество ДТП как в России, так и в сопредельных государствах, происходило по причине несоответствия скоростного режима условиям окружающей обстановки и управления транспортными средствами в состоянии опьянения [4]. Однако с течением времени фокус сместился на необходимость комплексного воздействия на систему «водитель–автомобиль–дорога–среда». Если составляющие «водитель» и «автомобиль» подвержены активному регулированию через административно–правовые меры и системы активной безопасности ТС, то факторы «дорога» и «среда» требуют внедрения принципиально новых технологий информационного обеспечения. Так, только за 2022 год в РФ из-за неудовлетворительных дорожных условий, связанных преимущественно с фактором «среда», произошло 38 614 происшествий, унесших жизни 4 080 человек [5].

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) представляют собой ключевой инструмент нивелирования указанных рисков. Эволюция ИТС в России прошла путь от точечных внедрений отдельных аппаратно–программных комплексов (например, систем видеофиксации нарушений правил парковки «ПАРКОН» и светофоров с обратным отсчетом времени в г. Белгороде в 2013 году [4]) до создания комплексных интеграционных платформ и центров управления дорожным движением (ЦУДД) [6]. Тем не менее, несмотря на наличие успешных локальных кейсов, в научном сообществе и на уровне региональных органов управления отсутствует унифицированная научно–методологическая база комплексной оценки влияния разрозненных элементов ИТС на показатели аварийности. Существующие методики зачастую оценивают эффективность ИТС постфактум, не учитывая синергетический эффект от интеграции подсистем метеомониторинга, адаптивного управления и видеоаналитики в единую предиктивную среду.

Фундаментом методологии оценки влияния ИТС на БДД является системный подход к анализу дорожной среды как киберфизической системы. Зарубежный опыт демонстрирует высокую зрелость таких систем: от японской модели VICS, обеспечивающей двустороннюю связь инфраструктуры и ТС, до сингапурского центра EMAS, интегрирующего подсистемы мониторинга, адаптивного регулирования и автоматического обнаружения ДТП [1]. В российских реалиях, в силу климатических и географических особенностей, слепое копирование зарубежных моделей неэффективно. Требуется адаптация, учитывающая высокую долю местных дорог в структуре аварийности и сложную зимнюю эксплуатацию.

Методология комплексной оценки базируется на трехуровневой архитектуре сбора и обработки данных:

Уровень сенсорного восприятия (IoT–слой): сбор телеметрии транспортных потоков, данных о параметрах дорожного покрытия (температура, влажность, коэффициент сцепления) и метеорологических явлений с помощью специализированных дорожных метеостанций и детекторов транспорта.

Уровень аналитической обработки (ЦУДД): верификация данных, выявление транспортных конфликтов, прогнозирование заторовых ситуаций и образование скользкости.

Уровень превентивного воздействия: адаптивное светофорное регулирование, управление переменными дорожными знаками, рассылка производственно–технологических предупреждений (ПТП) дорожным службам и информирование участников движения [7].

Внедрение элементов ИТС позволяет перейти от констатации факта образования гололеда к его математическому прогнозированию. Нами предложена методика, позволяющая на основании данных, получаемых с датчиков ИТС на дорогах федерального

значения, экстраполировать и прогнозировать возникновение неудовлетворительных дорожных условий (НДУ) на дорогах местного значения городских агломераций, где плотность установки стационарных метеостанций экономически нецелесообразна.

Для апробации научно–методологических основ в качестве базового полигона выбрана Белгородская городская агломерация, в которой реализована Концепция создания ИТС на 2020–2024 годы, включающая 5 этапов интеграции подсистем (Таблица 1) [6].

Таблица 1 – Этапы внедрения и интеграции элементов ИТС в Белгородской области

Table 1 – Stages of development and management of ITS elements in the Belgorod Region

Этап	**Год**	**Ключевые инфраструктурные элементы и подсистемы ИТС**
I	2020	Создание единой платформы диспетчерской службы, модули АСУДД, интеграция светофорных объектов.
II	2021	Создание ЦУДД, объединение ресурсов подсистем, расширение зоны покрытия средствами фотовидеофиксации.
III	2022	Интеграция информационных табло и знаков переменной информации, масштабирование систем мониторинга.
IV–V	2023–2024	Модернизация пользовательских сервисов, масштабирование источников данных, развитие транспортной инфраструктуры.

Проведенные исследования позволяют сформулировать ряд фундаментальных выводов, составляющих научно–методологическую основу оценки влияния ИТС на безопасность дорожного движения в городских агломерациях. Интеллектуальные транспортные системы являются не просто набором аппаратно–программных средств, а сложной информационно–аналитической экосистемой. Научно–методологические основы, предложенные в данной работе, обеспечивают математический и алгоритмический базис для объективной оценки вклада ИТС в снижение аварийности. Дальнейшие исследования авторским коллективом будут направлены на внедрение методов машинного обучения для самообучения математических моделей скользкости на основе накопленных массивов Big Data от мобильных навигационных сервисов и телематических систем коммерческого транспорта [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подкопаев А.В., Гвоздевский И.Н., Шевцова А.Г., Савотченко С.Е. Роль интеллектуальных транспортных систем в повышении безопасности дорожного движения: зарубежный опыт и российские перспективы // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2024. № 2. С. 88–93.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозным периодом до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734–р. – URL: https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda.
3. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/.
4. Боровской А.Е., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в рамках национальных программ повышения безопасности дорожного движения // Вестник ХНАДУ. 2013. Вып. 61–62. С. 279–283.
5. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Информационное обеспечение транспортно–дорожного комплекса для повышения безопасности дорожного движения // Автомобильная промышленность. 2023. № 5. С. 159–162.
6. Локтионова А.Г., Новиков И.А. Реализация инфраструктурных элементов ИТС в Белгородской области // Транспортное дело России. 2023. № 3. С. 250–256.

7. Шевцова, А. Г. Анализ нормативной документации по ИТС в России и за рубежом / А. Г. Шевцова, Е. Е. Стельмащук // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XI международной научно–практической конференции: в 2–х томах, Тюмень, 15 марта 2018 года. Том 1. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 359–362.
8. Шевцова, А. Г. Концепция вероятностно–статистического анализа дорожно–транспортных происшествий в интеллектуальных транспортных системах / А. Г. Шевцова, А. В. Подкопаев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2026. – № 1(47).

REFERENCES

1. Podkopaev A.V., Gvozdevsky I.N., Shevtsova A.G., Savotchenko S.E. The Role of Intelligent Transport Systems in Improving Road Safety: Foreign Experience and Russian Prospects // Transport and Storage of Petroleum Products and Hydrocarbon Raw Materials. 2024. No. 2. pp. 88–93.
2. Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast period up to 2035: Decree of the Government of the Russian Federation dated November 22, 2008 No. 1734–p. – URL: https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda.
3. On National Development Goals of the Russian Federation for the period up to 2030: Decree of the President of the Russian Federation dated 05/07/2024 No. 309. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/.
4. Borovskoi A.E., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Introduction of intelligent transport systems in the framework of national programs to improve road safety // Bulletin of KhNAU. 2013. Issue 61–62. Pp. 279–283.
5. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Information support for the transport and road complex to improve road safety // Automotive industry. 2023. No. 5. Pp. 159–162.
6. Loktionova A.G., Novikov I.A. Implementation of ITS infrastructure elements in the Belgorod Region // Transport Business of Russia. 2023. No. 3. Pp. 250–256.
7. Shevtsova, A. G. Analysis of regulatory documentation on ITS in Russia and abroad / A. G. Shevtsova, E. E. Stelmashchuk // Organization and Road Safety: Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Tyumen, March 15, 2018. Volume 1. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2018. – Pp. 359–362.
8. Shevtsova, A. G. The concept of probabilistic-statistical analysis of traffic accidents in intelligent transport systems / A. G. Shevtsova, A. V. Podkopaev // Avtomobil. Road. Infrastructure. – 2026. – No. 1(47).

DOI: 10.58168/DPIITT2026_60-65
УДК 656.13

ЭТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ПОДТАЛКИВАНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

О.Ю. Булатова[1]
[1] Донской государственный технический университет,
г. Ростов–на–Дону, Россия, e–mail: mip.rnd@yandex.ru

Аннотация. Современные интеллектуальные транспортные системы активно воздействуют на решения участников дорожного движения через интерфейсы навигаторов, алгоритмы высокоавтоматизированных транспортных средств и другие транспортные сервисы. Это воздействие, известное в поведенческой экономике как «архитектура выбора» или «подталкивание», позволяет повысить эффективность дорожного движения, но одновременно ставит вопрос о границах этически допустимого управления поведением человека.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, алгоритмическое подталкивание, транспортные сервисы, цифровые транспортные услуги.

ETHICAL ASPECTS OF ALGORITHMIC NUDGING IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

O.Yu. Bulatova[1]
[1]Don State Technical University, Rostov–on–Don, Russia, e–mail: mip.rnd@yandex.ru

Abstract. Modern intelligent transport systems actively influence the decisions of road users through navigator interfaces, algorithms of highly automated vehicles, and other transport services. This influence, known in behavioral economics as "choice architecture" or "nudging", makes it possible to improve traffic efficiency, but at the same time raises the question of the limits of ethically acceptable control over human behavior.

Keywords: intelligent transport systems, algorithmic nudging, transport services, digital transport services.

Поведенческая экономика сформировалась как отдельная дисциплина к концу XX столетия. В её основе лежит допущение того, что люди, принимая решения, далеко не всегда действуют строго рационально. Ограниченная рациональность, когнитивные искажения и зависимость от контекста порождают устойчивые, систематические отклонения в выборе. Эти закономерности были описаны и классифицированы в исследованиях Д. Канемана и А. Тверски, а позднее развиты в концепции «архитектуры выбора», сформулированной Р. Талером и К. Санстейном [1–3]. Под архитектурой выбора понимается такая организация среды, в которой даже незначительные изменения в подаче альтернатив способны заметно повлиять на решение человека, не ущемляя при этом его свободу.

Данный подход получил название либертарианского патернализма – стратегии, при которой «архитекторы выбора» ненавязчиво подводят людей к вариантам, выгодным для них самих или для общества, но оставляют за ними право отклониться от предложенного сценария. Инструментом этого подхода является «подталкивание», то есть

© Булатова О. Ю., 2026

любое изменение среды, которое предсказуемо корректирует поведение человека без запретов и без экономических стимулов. Подталкивание не устраняет альтернативы, не предполагает принуждения, однако провоцирует человека сделать выбор, наиболее благоприятный для системы [4–7].

В цифровой среде подталкивание обретает новые формы. Интерфейсы приложений, алгоритмы рекомендаций, настройки по умолчанию, визуальное акцентирование одних опций (например, выделение определенных маршрутов зеленым цветом) и приглушение других – всё это становится элементом цифровой архитектуры выбора. Если в физическом пространстве подталкивание обычно требует переустройства среды, то цифровая архитектура позволяет влиять на поведение мгновенно, масштабно и с учётом индивидуальных особенностей пользователя.

Современные транспортные сервисы являются сферой, в которой архитектура выбора представлена особенно широко. Взаимодействуя с навигационными системами, пользователь имеет дело с интерфейсами, которые упорядочивают его решение: какие маршруты демонстрируются в первую очередь, какая информация о заторах выводится на передний план, какие альтернативы спрятаны за дополнительными действиями [8–11].

Навигационные системы применяют несколько типов подталкивания:

Фрейминг выбора. Система предлагает несколько маршрутов с указанием времени в пути, загруженности дорог и иных параметров, формируя у пользователя образ «оптимального» варианта. Очерёдность показа маршрутов, цветовая индикация (красный/зелёный) и визуальная подача способны заметно повлиять на решение.

Опция по умолчанию. Маршрут, предложенный первым, воспринимается как «путь по умолчанию». Большинство пользователей выбирают его, не изучая альтернативы.

Динамическое подталкивание. Система корректирует рекомендации в зависимости от дорожных условий (времени суток, погоды, ДТП, заполненности парковок), подстраивая «правильный» выбор под меняющиеся условия.

Высокоавтоматизированные транспортные средства (ВАТС) переводят подталкивание на качественно иной уровень. Если навигаторы и прочие сервисы составляют рекомендации для пользователей транспортной системой, то ВАТС самостоятельно определяют скорость, дистанцию, траекторию и другие особенности перемещения между заданными пунктами. Таким образом, при использовании ВАТС подталкивание трансформируется из рекомендательного направления в область алгоритмического управления: водитель передаёт системе водительские решения, система реализует их, опираясь на заданные приоритеты и параметры (безопасность, комфорт, эффективность) [4–10].

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) используют подталкивание для управления заторами в масштабе всей улично–дорожной сети. Среди примеров – адаптивное регулирование светофоров, приоритет движения общественного транспорта, информирование о занятых парковочных местах, а также ограничение доступа в отдельные зоны в часы пик. В ИТС подталкивание адресовано не конкретному водителю, а множеству участников движения, что ставит дополнительные этические вопросы о справедливом распределении выгод и издержек, связанные не только с дилеммой свобода или безопасность, а также:

Справедливость распределения потоков. Когда алгоритм оптимизирует потоки в масштабе сети, выгоды и издержки распределяются неравномерно. Приоритет движения общественного транспорта сокращает время в пути для одних пассажиров, но увеличивает задержки для автомобилистов. Ограничение доступа в отдельные зоны улучшает экологию и безопасность в центре, но перекладывает нагрузку на периферийные районы.

Соответственно, появляется проблема: по какому критерию система оценивает «общее благо» и кто определяет веса отдельных пользовательских групп?

Прозрачность предлагаемых решений. Подталкивание осуществляется эффективно именно потому, что остаётся незаметным. Пользователь навигатора не знает, почему ему показали именно этот маршрут и какие альтернативы были скрыты. В случае ВАТС ситуация усугубляется: решения о скорости и траектории принимаются алгоритмом, приоритеты которого (безопасность, комфорт, эффективность) могут вступать в конфликт. Без раскрытия логики работы системы и механизмов контроля ответственность за последствия размывается.

Автономия и манипуляция. Либертарианский патернализм предполагает сохранение свободы отказа. Однако на практике архитектура выбора может незаметно превращаться в инструмент манипуляции, если подталкивание систематически направляет пользователя к решениям, выгодным оператору системы, а не самому человеку. Грань между «помощью» и «управлением» становится особенно зыбкой в цифровой среде, где воздействие мгновенно, масштабируемо и персонализировано.

Инклюзивность. Алгоритмы обучаются на данных, отражающих поведение большинства. Для пользователей с иными паттернами мобильности (пожилых людей, лиц с ограниченными возможностями, жителей районов с низкой цифровой грамотностью) «оптимальные» рекомендации могут оказываться неудобными или недоступными. Подталкивание, ориентированное на среднего пользователя, рискует усиливать существующее неравенство.



Рисунок 1 – Этические аспекты подталкивания в ИТС
Figure 1 – Nudging ethical aspects in ITS

Алгоритмическое подталкивание в интеллектуальных транспортных системах порождает целый комплекс этических вопросов, которые существуют не изолированно друг от друга, а проявляются на всех уровнях, от интерфейса навигатора до управления

транспортными потоками в масштабе города (Рисунок 1). При этом один и тот же этический вызов может приобретать разные уровни воздействия в зависимости от того, адресован он отдельному водителю или целой группе участников движения. Соответственно, и способы его разрешения будут различаться: то, что допустимо на уровне персональной рекомендации, требует иных механизмов контроля и ответственности, когда речь идёт об управлении транспортной системой в целом.

Алгоритмическое подталкивание в интеллектуальных транспортных системах представляет собой двойственный инструмент. Оно открывает возможности для повышения эффективности, безопасности и устойчивости транспортных потоков, но одновременно требует этической рефлексии и институциональных гарантий. Ключевыми условиями допустимости такого воздействия являются прозрачность алгоритмов, возможность осознанного отказа, справедливый баланс интересов разных групп участников движения и постоянный общественный контроль. Без этих условий подталкивание рискует превратиться из инструмента помощи в механизм скрытого управления поведением, что противоречит исходным принципам либертарианского патернализма. Рассмотрим основные типы цифрового подталкивания и связанные с ними этические риски (таблица 1).

Таблица 1 – Типы алгоритмического подталкивания в ИТС
Table 1 –Algorithmic nudging types in ITS

Тип подталкивания	**Механизм воздействия**	**Адресат**	**Этические риски**
Статическое подталкивание	Фиксированные настройки по умолчанию, визуальное выделение, порядок отображения альтернатив	Отдельный пользователь	Скрытое влияние, размывание автономии
Персонализированное подталкивание	Адаптация рекомендаций и способа их подачи на основе данных о предпочтениях пользователя	Отдельный пользователь	Алгоритмическая предвзятость, вопросы приватности, риск манипуляции
Динамическое адаптивное подталкивание	Непрерывное обучение поведению пользователя и корректировка стратегии воздействия в реальном времени	Пользователь и группа пользователей	Непрозрачность, размывание ответственности, вопросы справедливости
Гиперперсонализированное подталкивание	Интервенция на основе ИИ и больших данных, интеграция данных из разных платформ	Транспортная система	Стирание границы манипуляции, концентрация алгоритмической власти

На территории Российской Федерации отслеживается тенденция развития алгоритмического подталкивания в сторону развития персонализированных транспортных сервисов. Концепция мобильности как услуги предполагает интеграцию различных видов транспорта в единую цифровую платформу, а её востребованность напрямую зависит от способности системы подстраиваться под индивидуальные потребности и предпочтения пользователя. Соответственно, следующим этапом развития отечественных

ИТС является создание механизмов обучения на основе данных о предпочтениях пользователей, позволяющих системе предлагать персонализированные маршрутные решения, не ущемляя свободу выбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kahneman D., Tversky A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk // Econometrica. – 1979. – Vol. 47, No. 2. – P. 263–291.
2. Sunstein C. R., Thaler R. H. Libertarian Paternalism Is Not an Oxymoron // University of Chicago Law Review. – 2003. – Vol. 70, No. 4. – P. 1159–1202.
3. Thaler R. H., Sunstein C. R. Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness. – New Haven: Yale University Press, 2008.
4. Дорохин, С. В. Организации радиосвязи с удаленными подвижными наземными объектами / С. В. Дорохин, В. А. Иванников, Д. А. Жайворонок // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 4(47). – DOI 10.26102/2310–6018/2024.47.4.028. – EDN DHXOLK.
5. Булатова, О. Ю. Адаптация транспортной инфраструктуры к системе "умный город" / О. Ю. Булатова // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 2(73). – С. 92–98. – DOI 10.33979/2073–7432–2021–73–2–92–98. – EDN CRQHGS.
6. Дорохин, С. В. Развитие методов управления транспортными потоками в малых и средних городах / С. В. Дорохин, А. Ю. Артемов // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1–1(80). – С. 60–67. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–1(80)–1–60–67. – EDN EOYCQJ.
7. Глаголев, С. Н. Разработка математической модели управления движением транспортного потока / С. Н. Глаголев, И. А. Новиков, Л. Е. Кущенко, Л. А. Королева // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1–1(80). – С. 68–75. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–1(80)–1–68–75. – EDN FXQHOE.
8. Шевцова, А. Г. Оценка экологических показателей транспортных потоков при изменении планов управления / А. Г. Шевцова, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3–1(82). – С. 101–107. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–3–1(82)–101–107.
9. Зедгенизов, А. В. Оптимизация планирования и организации перевозок населения при обслуживании центров массового тяготения урбанизированных территорий на основе формирования транспортного спроса / А. В. Зедгенизов // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно–практической конференции, Орёл, 20 мая 2020 года /Под общей редакцией А.Н. Новиков. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2020. – С. 20–26. – EDN QXMAMF.
10. Дорохин, С. В. Роль инновационных систем регулирования дорожного движения в транспортной инфраструктуре мегаполисов РФ / С. В. Дорохин, В. А. Рудь // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4–2(87). – С. 122–127. – DOI 10.33979/2073–7432–2024–4–2(87)–122–127. – EDN VTXOQH.
11. Криволапова, О. Ю. Разработка алгоритма внедрения беспилотных автомобилей на предприятии / О. Ю. Криволапова, О. В. Емельянцева // Молодой исследователь Дона. – 2018. – № 5(14). – С. 61–66. – EDN YHKGYH.

REFERENCES

1. Kahneman D., Tversky A. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk // Econo–met–rica. – 1979. – Vol. 47, No. 2. – P. 263–291.
2. Sunstein C. R., Thaler R. H. Libertarian Paternalism Is Not an Oxymoron // University of Chi–cago Law Review. – 2003. – Vol. 70, No. 4. – P. 1159–1202.
3. Thaler R. H., Sunstein C. R. Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happi–ness. – New Haven: Yale University Press, 2008.

4. Dorohin, S. V. Organizacii radiosvyazi s udalennymi podvizhnymi nazemnymi ob"ek–tami / S. V. Dorohin, V. A. Ivannikov, D. A. Zhajvoronok // Modelirovanie, optimizaciya i in–formacionnye tekhnologii. – 2024. – T. 12, № 4(47). – DOI 10.26102/2310–6018/2024.47.4.028. – EDN DHXOLK.

5. Bulatova, O. Yu. Adaptaciya transportnoj infrastruktury k sisteme "umnyj gorod" / O. Yu. Bulatova // Mir transporta i tekhnologicheskih mashin. – 2021. – № 2(73). – S. 92–98. – DOI 10.33979/2073–7432–2021–73–2–92–98. – EDN CRQHGS.

6. Dorohin, S. V. Razvitie metodov upravleniya transportnymi potokami v malyh i srednih gorodah / S. V. Dorohin, A. Yu. Artemov // Mir transporta i tekhnologicheskih mashin. – 2023. – № 1–1(80). – S. 60–67. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–1(80)–1–60–67. – EDN EOYCQJ.

7. Glagolev, S. N. Razrabotka matematicheskoj modeli upravleniya dvizheniem transportnogo potoka / S. N. Glagolev, I. A. Novikov, L. E. Kushchenko, L. A. Koroleva // Mir transporta i tekh–nologicheskih mashin. – 2023. – № 1–1(80). – S. 68–75. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–1(80)–1–68–75. – EDN FXQHOE.

8. Shevcova, A. G. Ocenka ekologicheskih pokazatelej transportnyh potokov pri izmenenii planov upravleniya / A. G. Shevcova, V. V. Vasil'eva // Mir transporta i tekhnologicheskih mashin. – 2023. – № 3–1(82). – S. 101–107. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–3–1(82)–101–107.

9. Zedgenizov, A. V. Optimizaciya planirovaniya i organizacii perevozok naseleniya pri obsluzhivanii centrov massovogo tyagoteniya urbanizirovannyh territorij na osnove formirovaniya transportnogo sprosa / A. V. Zedgenizov // Informacionnye tekhnologii i innovacii na transporte: Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno–prakticheskoj konferencii, Oryol, 20 maya 2020 goda / Pod obshchej redakciej A.N. Novikov. – Oryol: Orlovskij gosudarstvennyj universitet imeni I.S. Turgeneva, 2020. – S. 20–26. – EDN QXMAMF.

10. Dorohin, S. V. Rol' innovacionnyh sistem regulirovaniya dorozhnogo dvizheniya v transportnoj infrastrukture megapolisov RF / S. V. Dorohin, V. A. Rud' // Mir transporta i tekhnologicheskih mashin. – 2024. – № 4–2(87). – S. 122–127. – DOI 10.33979/2073–7432–2024–4–2(87)–122–127. – EDN VTXOQH.

11. Krivolapova, O. Yu. Razrabotka algoritma vnedreniya bespilotnyh avtomobilej na predpriyatii / O. Yu. Krivolapova, O. V. Emel'yanceva // Molodoj issledovatel' Dona. – 2018. – № 5(14). – S. 61–66. – EDN YHKGYH.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_66-69
УДК 656.13.05

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИТС В СНИЖЕНИИ ТЯЖЕСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДТП НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

К.А. Бычкова[1], А.В. Подкопаев[1], А.Г. Шевцова[1]
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия
christosh3003@gmail.com

Аннотация. В статье представлена комплексная оценка влияния инфраструктурных элементов интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на тяжесть последствий дорожно–транспортных происшествий (ДТП) в Белгородской городской агломерации. На основе статистических данных за 2012–2022 гг. выполнен ретроспективный анализ аварийности с применением математического аппарата распределения Пуассона и формулы Байеса для классификации водителей по степени предрасположенности к ДТП. Установлено, что внедрение подсистем адаптивного светофорного регулирования, автоматизированного весогабаритного контроля и метеомониторинга в рамках Концепции создания ИТС Белгородской области на 2020–2024 гг. позволило достичь снижения суммарной задержки транспортных потоков на магистралях до 50 % и сократить вероятность возникновения ДТП, связанных с неудовлетворительными дорожными условиями.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, тяжесть последствий ДТП, Белгородская агломерация, адаптивное светофорное регулирование.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF ITS INFRASTRUCTURAL ELEMENTS IN REDUCING THE SEVERITY OF TRAFFIC ACCIDENT CONSEQUENCES: A CASE STUDY OF THE BELGOROD AGGLOMERATION

C.A. Bychkova[1], A.V. Podkopaev[1], A.G. Shevtsova[1]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
christosh3003@gmail.com

Abstract. The article presents a comprehensive assessment of the impact of infrastructure elements of intelligent transport systems (ITS) on the severity of the consequences of road traffic accidents (RTAs) in the Belgorod urban agglomeration. Based on statistical data from 2012–2022, a retrospective analysis of accident rates was carried out using the mathematical framework of the Poisson distribution and Bayes' formula to classify drivers according to their predisposition to RTAs. It has been established that the implementation of subsystems for adaptive traffic light control, automated weight and dimensional control, and weather monitoring within the framework of the Concept for the Development of Intelligent Transport Systems in the Belgorod Region for 2020–2024 has made it possible to reduce the total delay in transport flows on highways by up to 50 % and to reduce the likelihood of traffic accidents related to poor road conditions.

Keywords: intelligent transport systems, the severity of traffic accident consequences, the Belgorod agglomeration, adaptive traffic light control.

Обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) остаётся одной из наиболее острых социально-экономических проблем Российской Федерации. Ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий в стране погибает и получает ранения

© Бычкова К. А., Подкопаев А. В., Шевцова А. Г., 2026

свыше 275 тыс. человек, а совокупный макроэкономический ущерб от аварийности достигает порядка 2,5 % валового внутреннего продукта [1]. Несмотря на последовательное снижение абсолютных показателей аварийности в рамках реализации Федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» и национального проекта «Безопасные качественные дороги», тяжесть последствий отдельных видов ДТП остаётся критически высокой. Так, в 2022 г. в Российской Федерации произошло 10 854 ДТП, связанных с выездом на полосу встречного движения, в которых погибли 3 511 и были ранены 18 803 человека, а показатель тяжести последствий составил 15,7 – то есть каждый шестой пострадавший получил смертельные травмы [2].

Особую обеспокоенность вызывает влияние фактора «среда» в классической системе «водитель–автомобиль–дорога–среда». Только за 2022 г. из-за неудовлетворительных дорожных условий, связанных преимущественно с неблагоприятными метеорологическими явлениями, в России произошло 38 614 происшествий, унёсших жизни 4 080 человек [3]. Наибольшая доля таких ДТП приходится на дороги местного значения городских агломераций, где плотность установки стационарных метеостанций и датчиков контроля состояния покрытия экономически ограничена.

В этих условиях интеллектуальные транспортные системы (ИТС) рассматриваются как ключевой инструмент перехода от реактивной к предиктивной парадигме управления БДД. Зарубежный опыт – японская система VICS, сингапурский центр EMAS, американская стратегия ramp metering – демонстрирует, что интеграция информационно–коммуникационных технологий в транспортную инфраструктуру позволяет кратно снизить как частоту, так и тяжесть ДТП [1; 4]. В Российской Федерации внедрение ИТС активизировалось в последние десять лет, и Белгородская область стала одним из пилотных субъектов, в которых реализация Концепции создания ИТС на 2020–2024 гг. достигла стадии практической эксплуатации [5].

Вместе с тем в научной литературе до настоящего времени отсутствует унифицированная методика количественной оценки вклада отдельных инфраструктурных элементов ИТС именно в снижение тяжести последствий ДТП, а не только в сокращение их общего числа. Существующие исследования, как правило, ограничиваются констатацией факта снижения аварийности после внедрения ИТС без декомпозиции синергетического эффекта подсистем [6; 7].

Ретроспективный анализ показывает, что транспортная ситуация в Белгородской области характеризуется неоднозначной динамикой. По данным за 2012 г. в регионе было зарегистрировано 1 369 ДТП, в которых погибли 259 и были ранены 1 603 человека [8]. К 2016 г. количество происшествий возросло до 1 449, что было обусловлено опережающим ростом автомобилизации: если в 2012 г. на 1 000 жителей РФ приходилось 257,5 автомобиля, то к 2015 г. этот показатель достиг 288,8, увеличившись на 12 % [6]. В целом по Центральному федеральному округу (ЦФО) наблюдалась аналогичная тенденция, при этом Белгородская область стабильно входила в группу регионов со средним уровнем аварийности [6].

Качественный перелом наметился с началом поэтапного внедрения ИТС. В 2020 г. Правительством Белгородской области была утверждена Концепция создания ИТС на 2020–2024 гг., включающая пять этапов интеграции подсистем [5]. К 2022 г. были достигнуты следующие показатели: доля светофорных объектов, подключённых к Центру управления дорожным движением (ЦУДД) и обеспечивающих адаптивное регулирование, составила 47,5 %; охват магистральных городских дорог техническими средствами сбора данных о параметрах дорожного движения – 62,5 %; доля пересечений, оборудованных дорожными видеокамерами, – от 25 % на магистралях общегородского значения до 47,44 % на улицах районного значения [5].

Инфраструктурные элементы ИТС Белгородской агломерации можно классифицировать по механизму воздействия на тяжесть последствий ДТП (табл. 1).

Таблица 1 – Классификация инфраструктурных элементов ИТС по механизму влияния на тяжесть последствий ДТП

Table 1 – Classification of ITS infrastructure elements based on the mechanism of their impact on the severity of traffic accident consequences.

Подсистема ИТС	Инфраструктурные элементы	Механизм снижения тяжести	Количественный эффект
Адаптивное светофорное регулирование (АСУДД)	Светофорные объекты с детекторами транспорта, ЦУДД	Снижение заторовых «хвостов» – основных зон наезда на препятствие и столкновения при перестроении	Задержки на магистрали −50 % [1]
Регулируемый съезд (ramp metering)	Светофоры на въездных рампах (алгоритм ALINEA)	Предотвращение критических слияний потоков, снижение вероятности боковых столкновений	Загрузка магистрали −10 % [1]
Весогабаритный контроль (АСВГК)	6 автоматических пунктов на региональных дорогах	Исключение разрушающего воздействия на покрытие, снижение риска ДТП с участием тяжеловесных ТС	Сохранность дорожного покрытия, увеличение срока службы [5]
Фотовидеофиксация	102 стационарных комплекса «SOVA–М», 1 мобильный «Дозор–М»	Дисциплинирование водителей, снижение скоростного режима в зонах концентрации ДТП	Охват 1 442 из 2 324 платных парковочных мест [5]
Метеомониторинг	Дорожные метеостанции, датчики температуры покрытия	Заблаговременное выявление скользкости, оперативная обработка реагентами	Прогнозирование НДУ на дорогах местного значения [3]
Видеонаблюдение и детектирование ДТП	Камеры на пересечениях	Сокращение времени прибытия экстренных служб, снижение вторичных ДТП	48,78 % пересечений магистралей общегородского значения [5]

Ключевым фактором, определяющим тяжесть последствий, является скорость транспортного средства в момент столкновения. Элементы ИТС, обеспечивающие снижение средней скорости потока (адаптивное регулирование, фотовидеофиксация) и предотвращение экстренных торможений (ramp metering, информирование о скользкости), оказывают наиболее существенное влияние именно на тяжесть, а не только на частоту ДТП [7–8].

Результаты исследования подтверждают, что комплексное внедрение инфраструктурных элементов ИТС в городских агломерациях является не просто инструментом повышения пропускной способности УДС, но и действенным механизмом снижения именно тяжести последствий ДТП, достигаемым за счёт синергетического взаимодействия подсистем адаптивного управления, метеомониторинга, фотовидеофиксации и весогабаритного контроля [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подкопаев А.В., Гвоздевский И.Н., Шевцова А.Г., Савотченко С.Е. Роль интеллектуальных транспортных систем в повышении безопасности дорожного движения: зарубежный опыт и российские перспективы // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2024. № 2. С. 88–93.

2. Ляхов П.В. Условия и обстоятельства аварийности, связанной с выездом на полосу встречного движения // Транспортное дело России. 2023. № 3. С. 256–260.

3. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Информационное обеспечение транспортно–дорожного комплекса для повышения безопасности дорожного движения // Автомобильная промышленность. 2023. № 5. С. 159–162.

4. Днистренко Н.С., Гузнородова К.Е., Кущенко Л.Е. Развитие интеллектуальных транспортных систем // Проблемы развития территорий. 2022. С. 43–50. DOI: 10.34220/PDTPT2022_43–50.

5. Локтионова А.Г., Новиков И.А. Реализация инфраструктурных элементов ИТС в Белгородской области // Транспортное дело России. 2023. № 3. С. 250–256.

6. Новиков И.А., Кравченко А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Научно–методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Федерации // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3(66). С. 58–64.

7. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Обзор передовых технологий в области безопасности дорожного движения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. С. 139–143.

8. Боровской А.Е., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в рамках национальных программ повышения безопасности дорожного движения // Вестник ХНАДУ. 2013. Вып. 61–62. С. 279–283.

9. Новиков И.А., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения качества организации дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3–4(78). С. 49–54. DOI: 10.33979/2073–7432–2022–4(78)–3–49–54.

10. Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно–транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации // Вестник гражданских инженеров. 2022. Т. 19. № 5. С. 116–122. DOI: 10.23968/1999–5571–2022–19–5–116–122.

REFERENCES

1. Podkopaev A.V., Gvozdevsky I.N., Shevtsova A.G., Savotchenko S.E. The Role of Intelligent Transport Systems in Improving Road Safety: Foreign Experience and Russian Prospects // Transport and Storage of Petroleum Products and Hydrocarbon Raw Materials. 2024. No. 2. Pp. 88–93.

2. Lyakhov P.V. Conditions and Circumstances of Accidents Related to Entering the Oncoming Lane // Transport Business of Russia. 2023. No. 3. Pp. 256–260.

3. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Information support of the transport and road complex for improving road safety // Avtomobilnaya Promyshlennost. 2023. No. 5. Pp. 159–162.

4. Dnistrenko N.S., Guznorodova K.E., Kushchenko L.E. Development of intelligent transport systems // Problems of Territory Development. 2022. Pp. 43–50. DOI: 10.34220/PDTPT2022_43–50.

5. Loktionova A.G., Novikov I.A. Implementation of ITS infrastructure elements in the Belgorod Region // Transport Business of Russia. 2023. No. 3. Pp. 250–256.

6. Novikov I.A., Kravchenko A.A., Shevtsova A.G., Vasilyeva V.V. Scientific and methodological approach to reducing the accident rate on the roads of the Russian Federation // World of Transport and Technological Machines. 2019. No. 3(66). Pp. 58–64.

7. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Overview of advanced technologies in the field of road safety // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2013. Pp. 139–143.

8. Borovskoy A.E., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Implementation of intelligent transport systems within the framework of national programs to improve road safety // Bulletin of KhNAU. 2013. Issue 61–62. Pp. 279–283.

9. Novikov I.A., Kushchenko L.E., Novopisny E.A., Kambur A.S. Using intelligent transport systems to improve the quality of traffic management // The World of Transport and technological machines. 2022. No. 3–4(78). pp. 49–54. DOI: 10.33979/2073–7432–2022–4(78)–3–49–54.

10. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Novopisny E.A., Kambur A.S. Statistical analysis of the probability of road accidents based on data of intelligent transport systems of the Belgorod agglomeration // Bulletin of Civil Engineers. 2022. Vol. 19. No. 5. pp. 116–122. DOI: 10.23968/1999–5571–2022–19–5–116–122.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_70-73
УДК 656.1.073

ИНФОРМИРОВАНИЕ ПЕШЕХОДОВ В ЗОНАХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

А.Ю. Савенкова[1], Е.Н. Олейников[2]
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия, e–mail: Savenkovaa81@gmail.com
[2]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород, Россия, e–mail: jgaj5644@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается применение информационного табло для предупреждения пешеходов о приближении транспортных средств к нерегулируемому пешеходному переходу на участках дорог с ограниченной видимостью. Рассмотрен принцип работы системы, основанный на фиксации транспортного средства, определении его скорости и расчете ориентировочного времени прибытия к переходу. Предложены варианты информационных сообщений для пешеходов и условия применения системы.

Ключевые слова. пешеходный переход, безопасность дорожного движения, информационное табло, ограниченная видимость, транспортное средство, информирование пешеходов, средства организации дорожного движения, островок безопасности.

PEDESTRIAN INFORMATION PROVISION IN AREAS WITH LIMITED VISIBILITY

A.Y. Savenkova[1], E.N. Oleynikov[2]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia, e–mail: Savenkovaa81@gmail.com
[2] Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia, e–mail: jgaj5644@gmail.com

Abstract. The article considers the use of an information display to warn pedestrians about approaching vehicles at an uncontrolled pedestrian crossing located on road sections with limited visibility. The operating principle of the system is based on detecting a vehicle, determining its speed, and estimating its arrival time at the pedestrian crossing. Possible information messages for pedestrians and conditions for the application of the system are proposed.

Keywords: pedestrian crossing, road traffic safety, information display, limited visibility, vehicle, pedestrian information, traffic management devices, pedestrian refuge island.

Обеспечение безопасности пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах особенно важно на участках дорог с ограниченной видимостью. В таких условиях пешеход не всегда может своевременно обнаружить приближающееся транспортное средство и оценить безопасность начала перехода.

Для повышения информированности пешеходов предлагается применение средств интеллектуальных транспортных систем в виде информационного табло, предупреждающего о приближении транспортного средства к пешеходному переходу. Использование данного решения позволяет учитывать фактическую дорожную обстановку и своевременно информировать пешехода о потенциальной опасности, что может способствовать повышению безопасности движения.

© Савенкова А. Ю., Олейников Е. Н., 2026

Система может применяться только на прямолинейных участках дороги, где между местом установки фиксирующего устройства и пешеходным переходом отсутствуют повороты, съезды, примыкания, развороты и иные элементы, позволяющие транспортному средству изменить направление движения. Это условие является важным, поскольку при наличии съезда или поворота автомобиль, зафиксированный системой, может покинуть рассматриваемый участок и фактически не приблизиться к пешеходному переходу. В таком случае информация на табло может стать недостоверной. Поэтому место установки оборудования должно выбираться таким образом, чтобы зафиксированное транспортное средство с высокой вероятностью продолжало движение именно в сторону пешеходного перехода.

В состав системы входит одно фиксирующее устройство, установленное на определенном расстоянии до пешеходного перехода, например за 1–2 км. Использование одного фиксатора позволяет упростить техническую реализацию проекта и снизить стоимость внедрения по сравнению с системами, предусматривающими непрерывное сопровождение транспортного средства на всем участке движения. Фиксатор определяет факт приближения автомобиля и его скорость в момент прохождения контрольной точки, после чего информация передается на табло, расположенное в зоне пешеходного перехода.

На основании полученных данных система рассчитывает ориентировочное время прибытия транспортного средства к пешеходному переходу и формирует информационное сообщение для пешехода. При этом табло не должно восприниматься как полноценная замена светофорному регулированию. Его задача заключается не в разрешении или запрете движения, а в дополнительном информировании пешехода о дорожной обстановке и необходимости более внимательной оценки ситуации перед началом перехода.

С учетом того, что скорость автомобиля после прохождения контрольной точки может измениться, а транспортное средство может замедлиться или остановиться, в проекте предусматривается устройство островка безопасности для пешеходов. Островок безопасности позволяет пешеходу при необходимости разделить переход проезжей части на два этапа. В случае изменения дорожной ситуации человек может остановиться на островке, повторно оценить обстановку, убедиться в отсутствии приближающихся транспортных средств и только после этого завершить переход.

Такое решение особенно важно на дорогах с большим количеством полос движения, где время пересечения проезжей части может составлять от 15 до 30 секунд в зависимости от ширины дороги, возраста и физического состояния пешехода. Наличие островка безопасности снижает риск ошибочного решения при переходе и повышает защищенность пешеходов на участках с высокой скоростью движения транспорта.

Для вывода информации на табло предлагается использовать понятные и краткие сообщения, не перегружающие пешехода лишними данными. В зависимости от расчетного времени приближения транспортного средства и дорожной ситуации на табло могут отображаться следующие варианты:

«Переход возможен. Убедитесь в безопасности»

«Внимание: транспортное средство на подходе»

«Не начинайте переход»

«Дождитесь проезда автомобиля»

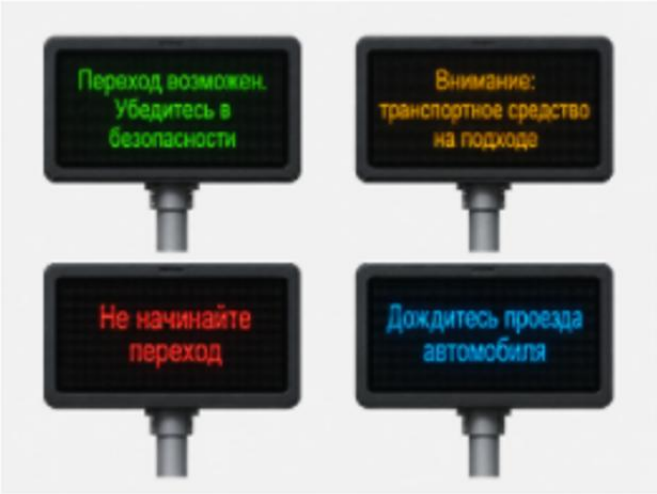


Рисунок 1 – Варианты надписи на табло
Figure 1 – Variants of the message displayed on the information board

Использование таких сообщений позволяет отказаться от вывода точного обратного отсчета, который может быть недостаточно достоверным при изменении скорости автомобиля. Вместо этого табло передает пешеходу более понятную информацию о степени опасности начала перехода.



Рисунок 2 – Пример размещения информационного табло предупреждения пешеходов на участке дороги с ограниченной видимостью
Figure 2 – Example of placing an information board for warning pedestrians on a road section with limited visibility

Принцип работы системы можно представить следующим образом. При отсутствии зафиксированных транспортных средств на табло отображается сообщение о возможности перехода с обязательным напоминанием о необходимости убедиться в безопасности. После фиксации приближающегося автомобиля система определяет его скорость и рассчитывает ориентировочное время прибытия к пешеходному переходу. Если транспортное средство находится на значительном расстоянии, табло может продолжать отображать сообщение о возможности перехода. Если автомобиль приближается и вре-

мени для безопасного перехода может быть недостаточно, на табло появляется предупреждение о транспортном средстве на подходе. При малом расчетном интервале до прибытия автомобиля система выводит сообщение о том, что начинать переход не следует.

Таким образом, предлагаемая система направлена на повышение безопасности пешеходов на прямых участках дорог с ограниченной видимостью. Ее применение позволяет заранее информировать пешехода о приближении транспортного средства, островок безопасности предоставляет пешеходу возможность остановиться, оценить дорожную обстановку и завершить переход только при наличии безопасного интервала.

Научная новизна предлагаемого решения заключается в разработке системы информирования пешеходов о приближении транспортных средств на прямых участках дорог с ограниченной видимостью. В отличие от традиционных технических средств организации дорожного движения, данная система учитывает фактическое приближение автомобиля к зоне пешеходного перехода и выводит на информационное табло предупреждающее сообщение, позволяющее пешеходу принять более обоснованное решение о начале перехода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А. Н., Кущенко Л. Е., Новописный Е. А., Камбур А. С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно–транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 5 (94). – С. 116–122. – DOI: 10.23968/1999–5571–2022–19–5–116–122.

2. Кущенко Л. Е., Дорохин С. В., Камбур А. С. Модель управления движением пешеходного потока для регулируемого пешеходного перехода // Воронежский научно–технический вестник. – 2025. – № 4. – С. 109–118. – DOI: 10.34220/2311–8873–2025–109–118.

3. Кущенко Л. Е. Разработка информационной модели, предупреждающей водителя о движении по опасному участку // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 4–1 (79). – С. 94–102.

4. Кущенко Л. Е., Камбур А. С., Гузнородова К. Е. Применение интеллектуальных транспортных систем с целью повышения экономического эффекта от предложенных мероприятий // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых : материалы конф. – Липецк, 2021. – С. 111–116.

5. Глаголев С. Н., Кущенко С. В., Кущенко Л. Е. Разработка системы управления движением на нерегулируемом пешеходном переходе // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1–2 (88). – С. 35–42. – DOI: 10.33979/2073–7432–2025–1–2(88)–35–42.

REFERENCES

1. Novikov, A. N., Kushchenko, L. E., Novopisny, E. A., & Kambur, A. S. Statistical analysis of the probability of road traffic accidents based on data from intelligent transport systems in the Belgorod agglomeration. Bulletin of Civil Engineers, 2022, No. 5 (94), pp. 116–122. DOI: 10.23968/1999–5571–2022–19–5–116–122.

2. Kushchenko, L. E., Dorokhin, S. V., & Kambur, A. S. Pedestrian flow control model for a signalized pedestrian crossing. Voronezh Scientific and Technical Bulletin, 2025, No. 4, pp. 109–118. DOI: 10.34220/2311–8873–2025–109–118.

3. Kushchenko, L. E. Development of an information model warning drivers about movement through a hazardous road section. World of Transport and Technological Machines, 2022, No. 4–1 (79), pp. 94–102.

4. Kushchenko, L. E., Kambur, A. S., & Guznorodova, K. E. Application of intelligent transport systems to increase the economic efficiency of the proposed measures. In: Innovative Potential for the Development of Society: A View of Young Scientists: Conference Proceedings. Lipetsk, 2021, pp. 111–116.

5. Glagolev, S. N., Kushchenko, S. V., & Kushchenko, L. E. Development of a traffic control system at an unsignalized pedestrian crossing. World of Transport and Technological Machines, 2025, No. 1–2 (88), pp. 35–42. DOI: 10.33979/2073–7432–2025–1–2(88)–35–42.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_74-78
УДК 656.05:004.9

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗАТОРОВОЙ СИТУАЦИИ НА ПОДХОДЕ К РЕГУЛИРУЕМОМУ ПЕРЕСЕЧЕНИЮ ПРИ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЕ ПЕРЕХОДНО-СКОРОСТНОЙ ПОЛОСЫ

А.Г. Шевцова[1], А.Г. Локтионова[1], Д.А. Лазарев[1], А.А. Топский[1], А.А. Соловьев[1]
[1]Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова, Белгород, Россия
Автор, ответственный за переписку: Алина Геннадьевна Локтионова, alinabur1995@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен режимный переход в обслуживании направления регулируемого пересечения, наступающий при исчерпании геометрической длины переходно-скоростной полосы. Предложен критерий перехода, выраженный через относительную геометрическую длину переходно-скоростной полосы, измеряемый средствами городской системы видеонаблюдения. Расчетным экспериментом установлена инвариантность критерия к интенсивности прибытия транспортных средств, доле поворачивающего потока и составу транспортного потока.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, адаптивное светофорное регулирование, переходно-скоростная полоса, режимный переход, состав транспортного потока, видеонаблюдение, наблюдаемый критерий

ANALYTICAL CRITERION FOR THE ONSET OF CONGESTION AT THE APPROACH TO A SIGNALIZED INTERSECTION WITH LIMITED SPEED-CHANGE LANE LENGTH

A.G. Shevtsova[1], A.G. Loktionova[1], D.A. Lazarev[1], A.A. Topsky[1], A.A. Solovyov[1]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
alinabur1995@mail.ru

Abstract. The study examines the operational transition in traffic handling at a controlled intersection that occurs when the geometric length of the speed–change lane is fully utilized. A transition criterion is proposed, expressed in terms of the relative geometric length of the speed–change lane and measurable via urban video surveillance systems. Computational experiments have demonstrated that this criterion is invariant with respect to vehicle arrival rates, the proportion of turning traffic, and the composition of the traffic flow.

Keywords: intelligent transport systems, adaptive traffic signal control, speed–change lane, operational mode transition, traffic stream composition, video surveillance, observed criterion

В составе интеллектуальных транспортных систем адаптивное светофорное регулирование определяет длительность сигналов регулирования на основе данных детекторов транспорта, оценивая состояние очередей транспортного потока на подходах к регулируемому пересечению. Теоретическое основание такой настройки – классические методы расчета режимов светофорного регулирования [1, 2] и современные децентрализованные алгоритмы при обслуживании [3, 4] – построено при допущении, что пространство переходно-скоростной полосы при размещении очереди транспортных средств не ограничено.

© Шевцова А. Г., Локтионова А. Г., Лазарев Д. А., Топский А. А., Соловьев А. А., 2026

В крупных городах со сложившейся застройкой это допущение не выполняется. Переходно-скоростная полоса, предназначенная отдельному направлению, имеет ограниченную геометрическую длину, и при ее исчерпании транспортные средства, не поместившиеся в такую полосу, занимают смежную полосу движения, в результате чего препятствуют эффективному движению автомобилей данного направления, которым разрешено движение [5]. Движение на такой полосе с этого момента определяется не настройкой светофорного регулирования, а планировочным решением. В теории коммутации пакетов, откуда заимствован аппарат дисциплин обслуживания, соответствующее явление известно и имеет собственный предел, не устранимый усовершенствованием алгоритма регулирования [6, 7].

Целью работы является получение критерия наступления этого перехода, пригодного для измерения средствами существующей городской системы видеонаблюдения. Состав транспортного потока входит в описание узла двумя независимыми величинами: средней занимаемой в очереди длиной и средним интервалом убытия через стоп-линию,

$$\delta_\ell = \sum\nolimits_k w_{\ell k} \cdot l_k \,, \qquad h_\ell = \sum\nolimits_k w_{\ell k} \cdot h_k \,, \tag{1}$$

где $w_{\ell k}$ – доля транспортных средств типа k на полосе ℓ; l_k – занимаемая в очереди длина, м; h_k – интервал убытия, с.

Первая величина относится к вместимости переходно–скоростной полосы, вторая – к пропускной способности стоп–линии. Для принятых справочных значений приведение по занимаемой длине дает 2,00, а по интервалу убытия – 1,60, вследствие чего единого коэффициента приведения, воспроизводящего обе величины, не существует.

Вместимость переходно–скоростной полосы в единицах подвижного состава является производной величиной:

$$N_\ell = G_\ell \big/ \delta_\ell \,, \tag{2}$$

где G_ℓ – геометрическая длина переходно–скоростной полосы, м. Величина G_ℓ характеризует планировку и от состава потока не зависит, тогда как N_ℓ изменяется вместе с составом потока при неизменной разметке.

В качестве безразмерной характеристики переходно–скоростной полосы принята ее относительная геометрическая длина – отношение длины полосы к длине очереди потока, накапливающейся за один период при полном запрещающем сигнале:

$$\Gamma_\ell = \frac{G_\ell}{\lambda_\ell \cdot \delta_\ell \cdot C}, \tag{3}$$

где λ_ℓ – интенсивность прибытия на полосу, ед/с; C – длительность периода регулирования, с.

Наблюдаемым критерием режимного перехода принята доля циклов светофорного регулирования, в которых очередь достигает конца переходно–скоростной полосы:

$$P_{исч} = \frac{n_{исч}}{n_ц}, \tag{4}$$

где $n_{исч}$ – число светофорных циклов с исчерпанием переходно–скоростной полосы; $n_ц$ – общее число наблюдаемых светофорных циклов. Величина определяется непосредственно по видеозаписи при условии охвата камерой одновременно стоп–линии и конца переходно–скоростной полосы и не требует установки дополнительного оборудования.

Для проверки инвариантности критерия выполнен расчетный эксперимент на имитационной модели на подходах к регулируемому пересечению. Варьировались интенсивность прибытия (0,12; 0,16; 0,20 ед/с), доля грузовых транспортных средств (0; 0,20; 0,40), доля поворачивающих автомобилей (0,20; 0,30; 0,40) и геометрическая длина переходно–скоростной полосы (от 16 до 140 м); длительность периода принята 90 с, продолжительность прогона 1,5 ч при восьми циклических повторах. Результаты приведены на рисунке 1 (на рисунке для удобства переходно–скоростная полоса обозначена как накопитель).

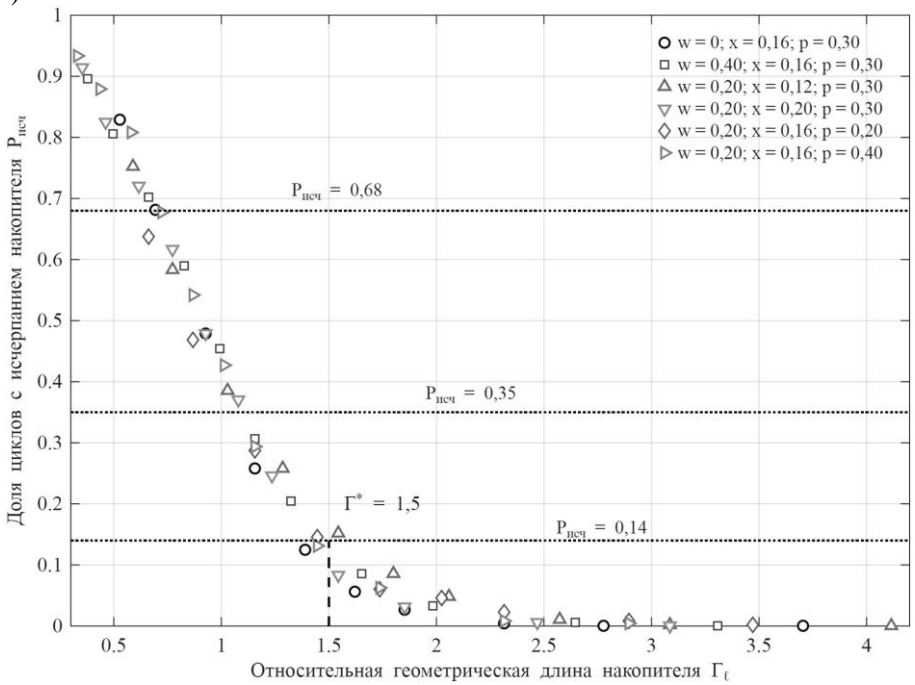


Рисунок 1 – Наблюдаемый критерий в зависимости от относительной геометрической длины переходно–скоростной полосы

Figure 1 – Observed criterion as a function of the relative geometric length of the speed–change lane

Точки, полученные при шести различных сочетаниях условий, располагаются на единой кривой. Количественная оценка инвариантности выполнена по значению, при котором наблюдаемая доля циклов достигает уровня 0,14; результаты приведены в табл. 1.

Инвариантной является только относительная геометрическая длина переходно–скоростной полосы: коэффициент ее вариации по шести сочетаниям условий составляет 4,8%, тогда как для критической длины в метрах он равен 25,1%, а для критической вместимости в единицах подвижного состава – 22,2%. Критическая длина в метрах утрачивает постоянство при изменении состава транспортного потока, критическая вместимость – при изменении интенсивности прибытия и доли поворачивающих автомобилей. С округлением в запас принято $\Gamma^* = 1{,}5$.

Таблица 1 – Сопоставление трех форм критической величины переходно-скоростной полосы

Table 1 – Comparison of three forms of the critical value for the acceleration/deceleration lane

Форма критической величины	**Диапазон**	**Среднее значение**	**Коэффициент вариации, %**
Относительная длина Γ^*	1,36–1,59	1,47	4,8
Геометрическая длина G^*, м	35,5–69,3	53,0	25,1
Вместимость N^*, ед.	4,22–8,24	6,29	22,2

По результатам расчета установлены три пороговых значения наблюдаемого критерия, разделяющие четыре режима обслуживания подхода (табл. 2).

Таблица 2 – Шкала режимов обслуживания подхода
Table 2 – Scale of approach service regimes

Режим	$P_{исч}$	Γ_{ℓ}	Содержание режима
I	менее 0,14	более 1,50	свободное обслуживание
II	0,14–0,35	1,08–1,50	эпизодический режимный переход
III	0,35–0,68	0,70–1,08	регулярный режимный переход
IV	более 0,68	менее 0,70	устойчивая блокировка смежной полосы

Практическое значение полученного результата для интеллектуальных транспортных систем состоит в следующем. Во–первых, режим работы подхода определяется по видеозаписи счетом событий, без измерения задержки и без дополнительного оборудования, что позволяет включить соответствующую процедуру в состав программного обеспечения существующих систем видеонаблюдения. Во–вторых, критерий указывает не на качество настройки регулирования, а на достаточность планировочного решения: при значениях критерия, отвечающих третьему и четвертому режимам, улучшение алгоритма управления желаемого результата не дает. В–третьих, выраженность критерия в безразмерной форме позволяет сопоставлять между собой пересечения с различной геометрией и различным составом обслуживаемого потока.

Дальнейшее исследование предполагает натурную проверку установленных пороговых значений на объектах улично–дорожной сети г. Белгорода, обладающей развитой инфраструктурой систем видеонаблюдения, а также распространение полученного критерия на уровень взаимодействия смежных регулируемых пересечений [8, 9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Webster F. V. Traffic signal settings. Road Research Technical Paper No. 39. – London : Her Majesty’s Stationery Office, 1958. – 44 p.

2. Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б. Технические средства организации дорожного движения : учебник для вузов. – Москва : Академкнига, 2005. – 279 с.

3. Varaiya P. Max pressure control of a network of signalized intersections // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2013. – Vol. 36. – P. 177–195.

4. Karol M. J., Hluchyj M. G., Morgan S. P. Input versus output queueing on a space–division packet switch // IEEE Transactions on Communications. – 1987. – Vol. COM–35, No. 12. – P. 1347–1356.

5. Gregoire J., Qian X., Frazzoli E., de La Fortelle A., Wongpiromsarn T. Capacity–aware backpressure traffic signal control // IEEE Transactions on Control of Network Systems. – 2015. – Vol. 2, No. 2. – P. 164–173.

6. Локтионова, А. Г. Определение динамического показателя автомобиля в транспортных потоках городской транспортной системы / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1–2(80). – С. 37–42. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–2(80)–1–37–42.

7. Новиков И. А., Шевцова А. Г., Кравченко А. А., Бурлуцкая А. Г. Разработка методики адаптации модели регулируемого пересечения // Вестник СибАДИ. – 2020. – Т. 17, № 6.

8. Жанказиев С. В. Интеллектуальные транспортные системы : учебное пособие. – Москва : МАДИ, 2016. – 120 с.

9. Локтионова, А. Г. Пути повышения эффективности управления городскими транспортными потоками / А. Г. Локтионова, А. Н. Новиков, А. Г. Шевцова. – Белгород–Орел : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2024. – 173 с. – ISBN 978–5–361–01415–6.

REFERENCES

1. Webster F. V. Traffic signal settings. Road Research Technical Paper No. 39. – London : Her Majesty's Stationery Office, 1958. – 44 p.

2. Kremenets Yu. A., Pechersky M. P., Afanasyev M. B. Technical Means for Traffic Organization: A Textbook for Higher Education Institutions. – Moscow : Akademkniga, 2005. – 279 p.

3. Varaiya P. Max pressure control of a network of signalized intersections // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2013. – Vol. 36. – P. 177–195.

4. Karol M. J., Hluchyj M. G., Morgan S. P. Input versus output queueing on a space–division packet switch // IEEE Transactions on Communications. – 1987. – Vol. COM–35, No. 12. – P. 1347–1356.

5. Gregoire J., Qian X., Frazzoli E., de La Fortelle A., Wongpiromsarn T. Capacity–aware backpressure traffic signal control // IEEE Transactions on Control of Network Systems. – 2015. – Vol. 2, No. 2. – P. 164–173.

6. Loktionova A. G., Shevtsova A. G. Determination of the dynamic performance indicator of a vehicle in traffic flows of an urban transport system // World of Transport and Technological Machines. – 2023. – No. 1–2(80). – P. 37–42. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–2(80)–1–37–42. 7. Novikov I. A., Shevtsova A. G., Kravchenko A. A., Burlutskaya A. G. Development of a methodology for adapting a controlled intersection model // Vestnik SibADI. – 2020. – Vol. 17, No. 6.

8. Zhankaziev S. V. Intelligent Transport Systems: A Study Guide. – Moscow: MADI, 2016. – 120 p.

9. Loktionova A. G. Ways to Improve the Efficiency of Urban Traffic Flow Management / A. G. Loktionova, A. N. Novikov, A. G. Shevtsova. – Belgorod–Orel: V. G. Shukhov Belgorod State Technological University, I. S. Turgenev Orel State University, 2024. – 173 p. – ISBN 978–5–361–01415–6.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_79-82
УДК 656.13:656.021.2:614.8

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ ЗАТОРАХ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

Р.В. Мороз[1], С.В. Дорохин[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Мороз Роман Вячеславович, roman.moroz2015@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрена взаимосвязь заторов на автозаправочных станциях с аварийностью и снижением пропускной способности как самой станции, так и прилегающего участка дороги. Очередь возникает, когда интенсивность прибытия автомобилей превышает темп обслуживания у топливораздаточных колонок, а въезд, накопительная площадка и схема движения по территории не рассчитаны на пиковую нагрузку.

Ключевые слова: АЗС, затор, аварийность, пропускная способность, организация движения.

ANALYSIS OF ACCIDENT RATES AND THROUGHPUT CAPACITY DURING CONGESTION AT FILLING STATIONS

R.V. Moroz[1], S.V. Dorokhin[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Roman Vyacheslavovich Moroz, roman.moroz2015@yandex.ru

Abstract. The paper considers the relationship of congestion at gas stations with accidents and reduced capacity of both the station itself and the adjacent road section. A queue occurs when the intensity of car arrivals exceeds the service rate at the fuel dispensers, and the entrance, storage area, and traffic pattern on the territory are not designed for peak load.

Keywords: gas station, congestion, accident rate, capacity, traffic management.

Затор на автозаправочной станции нельзя сводить к бытовому неудобству ожидания топлива. Станция является примыканием к улично–дорожной сети: пока очередь помещается на накопительной площадке, она остается внутренней задачей обслуживания. Как только хвост очереди выходит на проезжую часть, станция начинает отбирать полосу, создавать внезапное торможение и перестроение. Поэтому аварийность и пропускная способность здесь связаны одной причиной – дефицит топлива и ограниченное время продажи. Доминирующим фактором образования очереди является случайный характер прибытия автомобилей при ограниченном времени обслуживания у колонки. АЗС относится к системам массового обслуживания: непрерывная работа без отказа клиенту возможна лишь при небольшой очереди, но не за счет неограниченного накопления машин на дороге. В градостроительных рекомендациях по размещению станций приемлемой считается очередь не более 3–5 автомобилей к колонке [3].

Для ориентировочной оценки пропускной способности используется зависимость

© Мороз Р. В., Дорохин С. В., 2026

$$N = \frac{T \times 60 \times K}{t}, \quad (1)$$

где N – число обслуженных автомобилей за расчетный период,

T – основной период работы станции в часах,

t – время обслуживания одного автомобиля в минутах,

K – коэффициент неравномерности, принимаемый равным 0,35 из-а технологических перерывов и отсутствия клиентов [3].

При T = 12 ч и t = 4 мин расчет дает около 63 автомобилей на одну позицию обслуживания за смену. Если из–за стесненного маневрирования, ожидания оплаты и занятия колонки время цикла возрастает до 7 мин, тот же расчет дает около 36 автомобилей, то есть пропускная способность позиции падает примерно на 43 процента. Это расчетный пример по опубликованной формуле, а не результат натурного замера конкретной станции, но он показывает, насколько очередь чувствительна к длительности цикла.

Вторым по значимости фактором является нерациональная организация территории. Проблема состоит не только в недостатке площади, но и в пересечении потоков. Свод правил СП 156.13130.2014 требует, чтобы движение по территории АЗС было односторонним, а въезд и выезд – раздельными [1]. Правила пожарной безопасности, по которым длительное время эксплуатировались станции, дополнительно закрепляли вывешивание схемы организации движения перед въездом и запрет пересечения маршрутов въезжающего и выезжающего транспорта [2]. Если эти требования не выполнены, каждый лишний разворот и встречный разъезд внутри станции увеличивает цикл и переносит конфликт на прилегающую дорогу.

К планировочным дефектам относится и отсутствие площадки подпора. Ожидающие автомобили должны находиться на специальной площадке, обозначенной указателем и расположенной при въезде к заправочным островкам, вне зоны резервуаров и колонок [2]. Когда такой площадки нет либо она занята длительной стоянкой, магазинной парковкой или автоцистерной, очередь физически негде держать. Тогда даже исправные колонки не защищают магистраль: узким местом становится не отпуск топлива, а горловина въезда.

Существенную роль играет поведение водителей. Неаккуратная постановка к колонке, когда не обеспечен зазор и возможность выезда следующего автомобиля, снижает вместимость очереди и провоцирует сдачу назад. По правилам эксплуатации расстояние между автомобилем, стоящим под заправкой, и следующим в очереди должно быть не менее 1 м, а для каждого транспортного средства должна сохраняться возможность маневрирования и выезда [2]. На практике этот интервал нарушается именно в заторе, когда водители стремятся «уплотнить» очередь.

Отдельный источник потери пропускной способности – использование колонки не по назначению. Если автомобиль остается у раздаточного устройства, пока водитель обедает, отдыхает или находится в санитарной зоне, позиция обслуживания блокируется при формально свободной очереди на въезде. Государственная компания «Автодор», комментируя ситуацию на трассе Москва – Санкт–Петербург, прямо указала, что такое занятие колонки снижает пропускную способность АЗС и создает неудобства другим водителям, и рекомендовала подъезжать к колонке только после завершения дел в многофункциональной зоне [6]. Для придорожной станции в пиковый день это равносильно временному выводу части оборудования из работы.

Третьим критическим фактором является расчет станции по среднесуточной, а не по пиковой нагрузке. По пропускной способности заправок в сутки станции принято делить на три категории: свыше 1000, от 500 до 1000 и до 500 [3]. Такой показатель удобен для размещения сети, но плохо описывает затор. Очередь образуется не «в среднем за сутки», а в утренний и вечерний час, в предпраздничный день, при ограничении отпуска

топлива или при задержке автоцистерны. Норматив, выполненный по суточному объему, может быть формально соблюден и одновременно не обеспечивать качество обслуживания в пик.

Ситуация усугубляется тем, что прибытие носит случайный характер, а часть операций станция обязана выполнять с остановкой обычного потока. При нахождении на территории автоцистерны присутствие транспортных средств, посторонних лиц и второй цистерны, по общему правилу, не допускается; исключение для станций с подземными резервуарами и отнесенными колонками возможно лишь при обособленном проезде цистерны и заправке из резервуаров, которые в этот момент не наполняются [2]. Слив топлива поэтому является плановым провалом пропускной способности. Если его не согласовать с часом пик, внешняя очередь возникает даже на станции с достаточным числом колонок.

Затор переводит внутреннюю очередь в дорожно-транспортный конфликт. На подходе к станции типичны наезд на внезапно остановившийся автомобиль и резкое перестроение транзитного потока, объезжающего хвост очереди. На въезде конфликтуют левый поворот с встречным направлением и выезд с территории со сквозным движением. Внутри территории преобладают малоскоростные удары о островок, колонку, соседний автомобиль и наезд при сдаче назад. Любое повреждение оборудования станции с участием автомобиля клиента квалифицируется как дорожно–транспортное происшествие [5]. Следовательно, «мелкая» царапина колонки в очереди – это не бытовой спор, а учетное ДТП.

Операционные меры не требуют реконструкции. Оплату и выбор топлива целесообразно завершать до занятия колонки, а не во время блокировки раздаточного устройства. На трассовых комплексах подъезд к колонке должен выполняться после посещения кафе и санитарной зоны, иначе позиция простаивает при растущей очереди [6]. Слив автоцистерны следует выносить из часа пик и обеспечивать обособленным проездом, чтобы не останавливать отпуск из остальных резервуаров [2]. Электронное табло длины очереди и наличия топлива снижает хаотичные перестроения водителей, которые не видят свободную колонку из хвоста.

Для прилегающей дороги нужны меры доступа, а не только внутренняя разметка. Полоса торможения и разгона, запрет левого въезда через встречный поток там, где есть разворот в другом уровне или рядом, и недопущение остановки очереди в зоне автобусной остановки или пешеходного перехода отделяют заправляющихся от транзита. Схема движения должна быть читаема до въезда: водитель, который выбирает маршрут уже на проезжей части, тормозит поток дважды – сначала решением, затем маневром [2].

Заторы на АЗС представляют собой совместную задачу безопасности движения и пропускной способности, а не частный недостаток сервиса. Основные причины – случайное прибытие при длинном цикле обслуживания, пересечение потоков и отсутствие площадки подпора, расчет по суточной мощности вместо пикового часа и занятие колонки не для заправки. Последствия расходятся на три контура: имущественные и учетные ДТП на территории, скоростные конфликты при выбросе очереди на дорогу и потери времени, топлива и выручки.

Мировой и отечественный опыт организации доступа показывает, что очередь нужно удерживать внутри объекта, а не «растворять» в правом ряду. Европейская практика раздельных въезда и выезда, американский подход к управлению примыканиями и отечественные требования одностороннего движения на АЗС сходятся в одном: конфликтная точка должна быть заранее разведена в плане, а не разбираться в заторе. Технологическое увеличение числа колонок работает только после того, как въезд перестает быть горловиной.

Успешное снижение аварийности и восстановление пропускной способности требуют участия трех сторон. Оператор станции отвечает за схему движения, площадку подпора, расписание слива и дисциплину занятия колонок. Владелец дороги отвечает за геометрию примыкания и за то, чтобы хвост очереди не становился внезапным препятствием. Водитель отвечает за интервал, запрет остановки на проезжей части там, где она создает помеху, и за отказ от въезда, если накопительная площадка уже заполнена. Без этой связки дополнительная колонка не отменяет затор, а лишь переносит его к воротам станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности (с изменениями). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200110842

2. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. Глава 17. Автозаправочные комплексы и станции (Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 03.02.2025) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации"). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/a7d7c4b171a3a58364f92e4f7b62f869d9ca5a1d/?ysclid=muv2hr707p952188720

3. Агасьянц, А. А. Размещение АЗС в городе и сельской местности. URL: https://www.waksman.ru/Russian/Help/Agasyanz.htm

4. Влияние способа размещения топливо–раздаточных колонок на продолжительность цикла заправки автомобилей. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie–sposoba–razmescheniya–toplivo–razdatochnyh–kolonok–na–prodolzhitelnost–tsikla–zapravki–avtomobiley

5. Булавка, Ю. А. Недостаточная осведомленность водителей о мерах безопасности как фактор риска для жизни и здоровья при обращении с нефтепродуктами на АЗС. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nedostatochnaya–osvedomlennost–voditeley–o–merah–bezopasnosti–kak–faktor–riska–dlya–zhizni–i–zdorovya–pri–obraschenii–s

6. «Автодор» опроверг заторы у АЗС на трассе из Москвы в Санкт–Петербург // Авто Mail. 16.06.2026. URL: https://auto.mail.ru/article/125196–avtodor–oproverg–zatoryi–u–azs–na–trasse–iz–moskvyi–v–sankt–peterburg/

7. ГИБДД обнародовала статистику ДТП за первое полугодие // Коммерсантъ. 18.07.2024. URL: https://www.kommersant.ru/doc/6837576.

REFERENCES

1. SP 156.13130.2014. Automobile filling stations. Fire safety requirements (as amended). URL: https://docs.cntd.ru/document/1200110842

2. Fire Safety Rules of the Russian Federation. Chapter 17. Filling complexes and filling stations (introduced by Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia of 10 December 1997 No. 814, as subsequently amended). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_3210/45c572f5a8b93bafaae89e4f913e9fc7dbaabdef/

3. Agasyants, A. A. Siting of filling stations in urban and rural areas. URL: https://www.waksman.ru/Russian/Help/Agasyanz.htm

4. Influence of fuel–dispenser layout on the duration of the vehicle refueling cycle. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie–sposoba–razmescheniya–toplivo–razdatochnyh–kolonok–na–prodolzhitelnost–tsikla–zapravki–avtomobiley

5. Bulavka, Yu. A. Drivers' insufficient awareness of safety measures as a risk factor when handling petroleum products at filling stations. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nedostatochnaya–osvedomlennost–voditeley–o–merah–bezopasnosti–kak–faktor–riska–dlya–zhizni–i–zdorovya–pri–obraschenii–s

6. Avtodor denied congestion at filling stations on the Moscow–Saint Petersburg highway // Auto Mail. 16 June 2026. URL: https://auto.mail.ru/article/125196–avtodor–oproverg–zatoryi–u–azs–na–trasse–iz–moskvyi–v–sankt–peterburg/

7. The State Traffic Inspectorate published road accident statistics for the first half of the year // Kommersant. 18 July 2024. URL: https://www.kommersant.ru/doc/6837576.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_83-87
УДК 656.13.08:656.051

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАРШРУТАХ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Е.В. Чирков[1], С.В. Дорохин[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Чирков Евгений Викторович evgenijcirkov773@gmail.com

Аннотация. Проведен системный анализ факторов, влияющих на безопасность дорожного движения на маршрутах городского пассажирского транспорта. Установлено, что существующие классификации не учитывают специфику маршрутного движения в условиях развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Предложена авторская классификация факторов, объединяющая четыре группы: инфраструктурные, организационно–управленческие, технико–эксплуатационные и связанные с функционированием ИТС. Выявлено, что ключевым пробелом является отсутствие методики совместной оценки факторов с учетом стохастической неоднородности потоков. Результаты могут быть использованы при разработке моделей оценки рисков ДТП на маршрутной сети.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, городской общественный транспорт, маршрутные перевозки, факторы аварийности, интеллектуальные транспортные системы, классификация факторов, оценка рисков, пассажирские перевозки.

SYSTEMATIZATION OF FACTORS AFFECTING ROAD TRAFFIC SAFETY ON URBAN PASSENGER TRANSPORT ROUTES

E.V. Chirkov [1], S.V. Dorokhin[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Chirkov Evgeny Viktorovich evgenijcirkov773@gmail.com

Abstract. A systematic analysis of factors influencing road safety on urban passenger transport routes was carried out. It was established that existing classifications do not account for the specifics of route traffic in the context of intelligent transport systems (ITS) development. The authors' classification of factors is proposed, combining four groups: infrastructural, organizational and managerial, technical and operational, and those related to ITS functioning. It was revealed that the key gap is the lack of a methodology for joint factor assessment considering the stochastic heterogeneity of flows. The results can be used in developing models for assessing road accident risks on the route network.

Keywords: road safety, urban public transport, route transportation, accident factors, intelligent transport systems, factor classification, risk assessment, passenger transportation.

Уровень автомобилизации в городах–миллионниках России продолжает расти: к началу 2026 г. этот показатель превысил 370 ед./1000 жителей [1]. На этом фоне городской общественный транспорт (ГОТ) сталкивается с комплексом проблем – от снижения конкурентоспособности относительно личного автомобиля до роста аварийности на

© Чирков Е. В., Дорохин С. В., 2026

маршрутной сети. По данным ГИБДД МВД России, в 2025 г. на маршрутах ГОТ произошло более 2,8 тыс. ДТП, в которых пострадали свыше 3,5 тыс. человек [2]. Транспортная стратегия РФ до 2030 г. определяет снижение аварийности как одну из ключевых национальных целей [3], однако меры по обеспечению безопасности на маршрутах пассажирских перевозок внедряются фрагментарно, а единые подходы к систематизации факторов риска до сих пор не сформированы.

Согласно ранее выполненным исследованиям, безопасность дорожного движения (БДД) на маршрутах ГОТ оценивается преимущественно по показателям – коэффициенту аварийности, тяжести последствий, частоте ДТП на 1 млн пассажиро–километров [4, 5]. В работах [6, 7] отмечают, что такие показатели не позволяют выявить причинно–следственные связи между условиями функционирования маршрутов и возникновением ДТП. Именно этот пробел – отсутствие системной классификации факторов, учитывающей специфику маршрутного движения в условиях развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) – и определил цель исследования.

Цель работы – систематизировать факторы, влияющие на безопасность дорожного движения на маршрутах городского пассажирского транспорта, с учетом развития ИТС, и выявить пробелы в существующих подходах для обоснования направлений дальнейших исследований.

Анализ существующих подходов к классификации факторов ДТП показывает, что большинство исследований опирается на традиционное разделение факторов на три группы: человеческий фактор, техническое состояние транспортных средств и дорожные условия [8–13]. Работы [8–14] детально рассматривают влияние этих факторов на безопасность дорожного движения в целом, однако не учитывают специфику маршрутного движения ГОТ. В частности, не исследовано совместное влияние таких факторов, как расположение остановочных пунктов, режимы светофорного регулирования с приоритетным пропуском ОТ, качество передачи данных ГЛОНАСС и алгоритмы адаптивного управления движением.

С развитием ИТС появляются новые факторы влияния на безопасность – от качества навигационно–телематических данных до алгоритмов приоритетного проезда пересечений. Существующие классификации не учитывают эти факторы, что снижает их применимость для маршрутов ГОТ в современных условиях.

Для устранения выявленного пробела предложена авторская классификация факторов, влияющих на БДД на маршрутах, ГОТ, объединяющая четыре группы (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация факторов, влияющих на безопасность дорожного движения на маршрутах городского пассажирского транспорта

Table 1 – Classification of factors affecting road safety on urban public transport routes

Группа факторов	Конкретные факторы	Механизм влияния на безопасность
1. Инфраструктурные	1.1. Геометрические параметры улично–дорожной сети (радиусы закруглений, уклоны, ширина полос)	Ограничение видимости, снижение устойчивости ТС
	1.2. Состояние дорожного покрытия (ровность, сцепные качества)	Увеличение тормозного пути, риск заноса
	1.3. Расположение и обустройство остановочных пунктов (вынос за пределы проезжей части, наличие павильона)	Конфликт потоков при посадке/высадке пассажиров
	1.4. Организация светофорного регулирования (длительность циклов, наличие приоритета ОТ)	Риск ДТП на пересечениях при нарушении приоритета
2. Организационно–управленческие	2.1. Интервал движения в часы пик	Нарушение графика, скопление ТС на остановках

	2.2. Соблюдение расписания и регулярность движения	Превышение скорости для компенсации задержек
	2.3. Маршрутная сеть (длина маршрутов, дублирование)	Перегрузка отдельных участков УДС
	2.4. Контроль за соблюдением ПДД водителями	Снижение дисциплины, рост нарушений
3. Технико–эксплуатационные	3.1. Техническое состояние подвижного состава (тормозная система, рулевое управление)	Риск отказа систем безопасности
	3.2. Наличие систем активной безопасности (ABS, ESP, системы мониторинга усталости)	Снижение вероятности ДТП
	3.3. Возрастной состав парка	Рост частоты отказов, снижение комфорта
	3.4. Наличие низкопольного подвижного состава	Безопасность посадки/высадки МГН
4. Факторы, связанные с функционированием ИТС	4.1. Качество передачи данных ГЛОНАСС (задержки, потери пакетов)	Ошибки диспетчерского управления
	4.2. Алгоритмы адаптивного светофорного регулирования	Риск конфликтов при смене фаз
	4.3. Интеграция данных ИТС с системами мониторинга безопасности	Задержки в реагировании на инциденты
	4.4. Качество навигационно–телематического обеспечения	Ошибки в определении местоположения ТС

Предложенная классификация учитывает специфику маршрутного движения ГОТ и выделяет отдельную группу факторов, связанных с функционированием ИТС. Особое внимание уделено факторам 4.1–4.4, которые становятся критичными в условиях цифровизации транспортного комплекса.

Качество передачи данных ГЛОНАСС напрямую влияет на точность диспетчерского управления: задержки более 3–5 секунд приводят к ошибкам в определении местоположения ТС и снижению эффективности приоритетного проезда пересечений. Алгоритмы адаптивного светофорного регулирования, с одной стороны, повышают пропускную способность УДС, с другой – создают новые риски конфликтов при смене фаз, если не учитывают специфику движения ГОТ.

Интеграция данных ИТС с системами мониторинга безопасности (например, системами контроля усталости водителя) позволяет оперативно реагировать на инциденты, однако требует качественной навигационно–телематической инфраструктуры. Отсутствие такой интеграции снижает потенциальный эффект от внедрения ИТС.

Анализ предложенной классификации выявил ряд противоречий и пробелов в существующих подходах:

1. Отсутствие методики совместной оценки факторов. Существующие исследования рассматривают факторы изолированно, не учитывая их совместное влияние. Например, сочетание неудовлетворительного состояния дорожного покрытия (фактор 1.2) и задержек данных ГЛОНАСС (фактор 4.1) многократно повышает риск ДТП, однако количественно эта взаимосвязь не оценена.

2. Неучет стохастической неоднородности потоков. Транспортные и пассажирские потоки на маршрутах ГОТ характеризуются значительной стохастической неоднородностью, которая не учитывается в существующих классификациях факторов. Это снижает точность оценки рисков.

3. Отсутствие интегрального критерия риска для маршрута. Существующие подходы позволяют оценить риск ДТП на отдельном пересечении или участке УДС, однако не дают инструмента для комплексной оценки риска на всем протяжении маршрута с учетом специфики ГОТ.

Выявленные пробелы обосновывают необходимость разработки вероятностно–статистической модели оценки рисков ДТП на маршрутной сети ГОТ, учитывающей совместное влияние факторов и стохастическую неоднородность потоков.

В результате проведенного исследования:

1. Проведен системный анализ факторов, влияющих на безопасность дорожного движения на маршрутах городского пассажирского транспорта. Установлено, что существующие классификации не учитывают специфику маршрутного движения в условиях развития ИТС.

2. Предложена авторская классификация факторов, объединяющая четыре группы: инфраструктурные, организационно–управленческие, технико–эксплуатационные и связанные с функционированием ИТС. Классификация учитывает специфику маршрутного движения ГОТ и выделяет факторы, специфичные для ИТС.

3. Выявлено, что ключевым пробелом в существующих подходах является отсутствие методики совместной оценки факторов с учетом стохастической неоднородности транспортных и пассажирских потоков.

4. Обоснована необходимость разработки вероятностно–статистической модели оценки рисков ДТП на маршрутной сети ГОТ, учитывающей совместное влияние факторов. Результаты работы могут быть использованы при разработке математических моделей оценки рисков и при формировании региональных программ повышения безопасности дорожного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363–р. – URL: https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda.

2. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/

3. Новиков, А. Н. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города / А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – Белгород – Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. – 239 с.

4. Дорохин, С. В. Прогнозирование пассажиропотока автобусного транспорта общего пользования в Воронежской области / С. В. Дорохин, Р. А. Котов // Вестник Сибирского государственного автомобильно–дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 6. – С. 976–985.

5. Шевцова, А. Г. Математический анализ определенных показателей безопасности дорожного движения в Российской Федерации / А. Г. Шевцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно–дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 6(82). – С. 700–711.

6. Шевцова, А. Г. Динамика реализации программы Vision Zero в мировых странах / А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 3(74). – С. 35–42.

7. Котов, Р. А. Разработка маршрутного индекса эффективности городского общественного транспорта на основе трёхмерной оценки / Р. А. Котов, С. В. Дорохин // Воронежский научно–технический Вестник. – 2025. – Т. 4, № 4(54). – С. 73–79.

8. Investigation of methods for calculating duration of light signal regulation cycle / S. V. Dorokhin, V. A. Zelikov, Y. V. Strukov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, 17–20 января 2018 года. Vol. 1015 2. – Bristol: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032128.

9. Беляков, В. В. Автоматические системы транспортных средств: учебник / В. В. Беляков, Д. В. Зезюлин, В. С. Макаров, А. В. Тумасов. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2020. – 352 с.

10. Посметьев, В. И. Повышение эффективности управления потоком данных спутникового мониторинга транспортных средств / В. И. Посметьев, Д. А. Жайворонок //

Всероссийская научно–техническая конференция «Инновационные технологии на автомобильном транспорте». – 2022. – № 1(21). – С. 7–14.

11. Евтюков, С. А. Безопасность дорожного движения: учебник / С. А. Евтюков. – Санкт–Петербург: Лань, 2021. – 412 с.

12. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов, А. Н. Новиков, С. В. Еремин, А. Г. Шевцова. – 2–е издание, переработанное и дополненное. – Москва – Орёл – Белгород : Белгородский Государственный Технологический Университет им. В. Г. Шухова, 2024. – 331 с.

13. Жанказиев, С. В. Интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие / С. В. Жанказиев. – Москва: МАДИ, 2016. – 120 с.

REFERENCES

1. Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035: approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated 11/27/2021 No. 3363–R. – URL: https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda.

2. On the national development Goals of the Russian Federation for the period up to 2030: Decree of the President of the Russian Federation dated 05/07/2024 No. 309. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/.

3. Novikov, A. N. Ways to improve safety functioning of public transport in the conditions of perspective development of the city / A. N. Novikov, S. V. Eremin, A. G. Shevtsova. Belgorod – Orel: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2023. 239 p.

4. Dorokhin, S. V. Forecasting passenger traffic of public bus transport in the Voronezh region / S. V. Dorokhin, R. A. Kotov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. – 2025. – Vol. 22, No. 6. – pp. 976-985.

5. Shevtsova, A. G. Mathematical analysis of certain indicators of road safety in the Russian Federation / A. G. Shevtsova // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2021. – Vol. 18, No. 6(82). – pp. 700-711.

6. Shevtsova, A. G. Dynamics of the implementation of the Vision Zero program in world countries / A. G. Shevtsova // The world of transport and technological machines. – 2021. – № 3(74). – Pp. 35-42.

7. Kotov, R. A. Development of a route index of urban public transport efficiency based on a three-dimensional assessment / R. A. Kotov, S. V. Dorokhin // Voronezh Scientific and Technical Bulletin, 2025, vol. 4, No. 4(54), pp. 73-79.

8. Investigation of methods for calculating the duration of light signal regulation cycle / S. V. Dorokhin, V. A. Zelikov, Y. V. Strukov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Tomsk, January 17-20, 2018. Vol. 1015 2. – Bristol: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032128.

9. Belyakov, V. V. Automatic vehicle systems: textbook / V. V. Belyakov, D. V. Zezyulin, V. S. Makarov, A.V. Tumasov. – Moscow: FORUM: INFRA–M, 2020. – 352 p.

10. Posmetyev, V. I. Improving the efficiency of controlling the data flow of satellite monitoring of vehicles / V. I. Posmetyev, D. A. Zhayvoronok // All–Russian Scientific and Technical Conference "Innovative technologies in road transport". – 2022. – № 1(21). – Pp. 7-14.

11. Yevtyukov, S. A. Road safety: textbook / S. A. Yevtyukov. – St. Petersburg: Lan, 2021. – 412 p.

12. Theory of traffic flows in road design and traffic management / V. V. Silyanov, A. N. Novikov, S. V. Eremin, A. G. Shevtsova. – 2nd edition, revised and supplemented. – Moscow – Orel – Belgorod : Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2024. – 331 p.

13. Zhankaziev, S. V. Intelligent transport systems: a textbook / S. V. Zhankaziev. Moscow: MADI Publ., 2016. 120 p.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_88-93
УДК 656.13.08:004.946

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕЙСОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА КОГНИТИВНУЮ НАГРУЗКУ ВОДИТЕЛЯ

К.А. Закурдаева[1], А.А. Яровенко[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Ксения Алексеевна Закурдаева, 81ksusha.04@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена влиянию автомобильных интерфейсов дополненной реальности на когнитивную нагрузку водителя. Рассмотрены модели распределения внимания, типы AR–интерфейсов и методы оценки умственной нагрузки. Эффект AR–визуализации оказался неоднозначным: он зависит от способа привязки графики, объёма информации и сложности дорожной обстановки. Предложена структура адаптивного AR–интерфейса, который регулирует объём отображаемых данных.

Ключевые слова: дополненная реальность, проекционный дисплей, когнитивная нагрузка, водитель, распределение внимания, безопасность дорожного движения, человеко–машинный интерфейс, адаптивный интерфейс.

INFLUENCE OF AUGMENTED REALITY INTERFACES ON DRIVER COGNITIVE LOAD

K.A. Zakurdaeva[1], A.A. Yarovenko[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
Corresponding author: Ksenia Alekseevna Zakurdaeva, 81ksusha.04@gmail.com

Abstract. The paper studies how automotive augmented reality interfaces affect driver cognitive load. Models of attention allocation, types of AR interfaces and methods for measuring mental workload are reviewed. The effect of AR visualization turns out to be mixed: it depends on how the graphics are registered, how much information is shown and how complex the traffic situation is. A structure of an adaptive AR interface that limits the amount of displayed data is proposed.

Keywords: augmented reality, head–up display, cognitive load, driver, attention allocation, road safety, human–machine interface, adaptive interface.

В современном автомобиле водитель получает всё больше информации: подсказки навигатора, сообщения мультимедийной системы, предупреждения систем помощи водителю (ADAS). Чтобы прочитать их на приборной панели или центральном экране, приходится отводить взгляд от дороги, и на это время обстановка остаётся без визуального контроля. Технология дополненной реальности (AR) предлагает другое решение: виртуальная графика накладывается на реальную дорожную сцену прямо в поле зрения водителя [1].

Чаще всего AR в автомобиле реализуют через проекционный дисплей на ветровом стекле (AR–HUD), который формирует виртуальное изображение в нескольких метрах перед автомобилем. Экспериментальные работы фиксируют неоднозначный эффект такой графики: она может как облегчать, так и затруднять переработку информации во-

© Закурдаева К. А., Яровенко А. А., 2026

дителем [2]. В статье рассматриваются механизмы, через которые AR–интерфейсы влияют на когнитивную нагрузку водителя, и обосновываются принципы их адаптивного проектирования.

Когнитивной нагрузкой называют долю ограниченных ресурсов рабочей памяти и внимания, которую человек тратит на выполнение задачи. В теории когнитивной нагрузки выделяют внутреннюю составляющую, которая зависит от сложности самой задачи, внешнюю, определяемую способом подачи информации, и релевантную, связанную с построением ментальных моделей [3]. У водителя внутреннюю нагрузку задаёт дорожная обстановка. Внешнюю создаёт интерфейс бортовых систем, и на неё разработчик может повлиять.

Модель множественных ресурсов К. Уикенса объясняет, почему одни задачи мешают друг другу сильнее других: интерференция растёт, когда задачи совпадают по модальности восприятия, коду обработки и каналу ответной реакции [4]. Вождение в основном опирается на зрительно–пространственную обработку, поэтому текстовые сообщения и абстрактные пиктограммы на дисплее отнимают у него те же ресурсы. На разные стороны вождения рост нагрузки влияет по–разному. Удержание полосы и другие автоматизированные навыки при умеренной нагрузке почти не страдают, а реакция на неожиданное событие или выбор манёвра, где нужен сознательный контроль, заметно ухудшаются [5]. Водитель может смотреть прямо на дорогу и всё равно не заметить значимый объект из–за так называемой «слепоты невнимания» [6]. Поэтому одного удержания взгляда на дороге, которое даёт AR–HUD, для безопасного восприятия обстановки мало.

Польза AR–интерфейсов объясняется двумя причинами. Водителю реже приходится переводить взгляд, а конформная графика, привязанная к объектам сцены, избавляет его от необходимости мысленно сопоставлять условный знак с реальной полосой или перекрёстком. В исследовании С. Кима и А. Дея пожилые водители с AR–навигацией на ветровом стекле допускали меньше навигационных ошибок и меньше отвлекались, чем с обычным навигатором [7]. AR–маркеры над потенциально опасными объектами направляли внимание водителя и ускоряли обнаружение опасности [8, 9].

Однако наложенная на сцену графика может её загромождать и непроизвольно притягивать внимание. Если подсказки на проекционном дисплее неточны или ненадёжны, оператор начинает на них полагаться, сужает зону поиска и хуже замечает цели, которые система не отметила [10]. Х. Ким и Дж. Габбард указывают, что привычные критерии оценки бортовых дисплеев, построенные на длительности взглядов вне дороги, к AR–HUD без доработки не применимы [11]. В навигационных задачах AR–подсказки помогали водителям в неоднозначных ситуациях, хотя захват внимания виртуальной графикой и здесь нужно отдельно контролировать [12].

Типы автомобильных AR–интерфейсов и их влияние на когнитивную нагрузку водителя сведены в Таблицу 1.

Из Таблицы 1 видно, что результат зависит от того, насколько отображаемая информация соответствует текущей задаче водителя. Привычка полагаться на AR–маркеры к тому же может ослаблять самостоятельный прогноз развития ситуации, то есть высший уровень ситуационной осведомлённости по модели М. Эндсли [13].

Таблица 1 – Влияние типов AR–интерфейсов на когнитивную нагрузку водителя
Table 1 – Influence of AR interface types on driver cognitive load

Тип интерфейса	Привязка графики	Механизм влияния	Влияние на нагрузку
Экранно–фиксированный HUD	Фиксированная зона в поле зрения	Сокращение переводов взгляда; конкуренция за зрительные ресурсы	Снижение при малом объёме данных
Конформная AR–навигация	Полосы движения, перекрёстки	Устранение мысленного сопоставления схемы и реальной сцены	Снижение, особенно на сложных развязках
AR–выделение опасностей	Пешеходы, транспортные средства, препятствия	Целенаправленное привлечение внимания к объекту	Снижение при высокой надёжности; рост при ложных срабатываниях
Информационно–сервисные AR–элементы	Объекты инфраструктуры, точки интереса	Загромождение сцены, непроизвольный захват внимания	Рост, повышение риска отвлечения

Чтобы проектировать такие интерфейсы обоснованно, нагрузку нужно измерять. Основные группы методов её оценки приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Методы оценки когнитивной нагрузки водителя
Table 2 – Methods for assessing driver cognitive load

Группа методов	Показатели	Преимущества	Ограничения
Субъективные	Опросник NASA–TLX [14]	Простота, оценка по шести шкалам	Ретроспективность оценки
Поведенческие	Время реакции и пропуски в задаче DRT [15]	Стандартизованность, высокая чувствительность	Вводит дополнительную задачу
Физиологические	Диаметр зрачка [16], частота сердечных сокращений, электрокожная активность [17]	Непрерывная регистрация без участия водителя	Влияние освещённости и физической нагрузки
Окулографические	Длительность и частота взглядов, распределение фиксаций	Прямая оценка зрительного внимания	Не выявляют отвлечение при взгляде на дорогу
Параметры вождения	Отклонение от центра полосы, корректирующие движения руля	Регистрация штатными системами автомобиля	Низкая чувствительность к умеренной нагрузке

Каждый из этих показателей отражает нагрузку лишь частично, поэтому мы предлагаем интегральный индекс. Он объединяет нормированные отклонения нескольких показателей от индивидуальных фоновых значений:

$$I_{КН} = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot (x_i - x_{i0}) / x_{i0}, \quad (1)$$

где $I_{КН}$ – интегральный индекс когнитивной нагрузки; n – число регистрируемых показателей; x_i – текущее значение i–го показателя; x_{i0} – значение i–го показателя в фоновом режиме; w_i – весовой коэффициент i–го показателя, $\sum w_i = 1$; все показатели приводятся к виду, при котором рост значения означает рост нагрузки.

Индекс можно использовать как управляющий сигнал адаптивного AR–интерфейса, структура которого показана на Рисунке 1. Данные о дорожной обстановке приходят от сенсоров систем помощи водителю, приёмника ГЛОНАСС/GPS и по каналам V2X. Телематические данные о маршруте позволяют заранее выявить участки повышенной сложности [18].

Блок приоритизации сортирует сообщения по критичности. Предупреждение об угрозе столкновения выводится всегда, а информационные и сервисные сообщения при высокой нагрузке откладываются. Допустимое число некритических AR–элементов предлагаем определять по выражению

$$N_{доп} = N_{max} \cdot (1 - I_{КН} / I_{пред}), \quad (2)$$

где $N_{доп}$ – допустимое число некритических AR–элементов (с округлением вниз); N_{max} – максимальное число элементов для штатного режима; $I_{пред}$ – предельное значение индекса, определяемое экспериментально. При $I_{КН} \geq I_{пред}$ на дисплей выводятся только критические предупреждения.

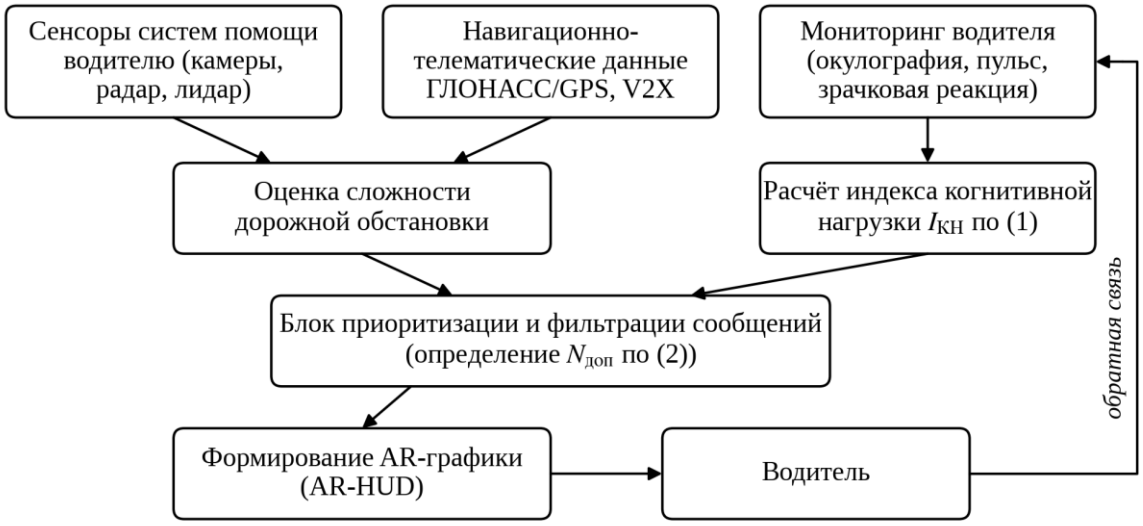


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивного AR–интерфейса
Figure 1 – Block diagram of an adaptive AR interface

Итак, дополненная реальность снижает когнитивную нагрузку водителя лишь при определённых условиях: информация должна относиться к вождению, быть пространственно согласована со сценой и ограничена по объёму. Избыточная или неточно совмещённая графика, напротив, усиливает отвлечение. Предложенная структура адаптивного AR–интерфейса регулирует объём данных в зависимости от сложности обстановки и состояния водителя. Вместе с интегральным индексом нагрузки она может стать основой для экспериментального подбора пороговых значений и разработки требований к автомобильным AR–системам с точки зрения безопасности дорожного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов, С. Б. Тип коммуникаций между водителем и автомобилем, основанный на дополненной реальности: новый тренд в построении интеллектуальных транспортных систем / С. Б. Ефремов // Современная зарубежная психология. – 2017. – Т. 6, № 1. – С. 6–14. – DOI 10.17759/jmfp.2017060101.

2. Gabbard, J. L. Behind the glass: driver challenges and opportunities for AR automotive applications / J. L. Gabbard, G. M. Fitch, H. Kim // Proceedings of the IEEE. – 2014. – Vol. 102, No. 2. – P. 124–136. – DOI 10.1109/JPROC.2013.2294642.

3. Sweller, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning / J. Sweller // Cognitive Science. – 1988. – Vol. 12, No. 2. – P. 257–285. – DOI 10.1207/s15516709cog1202_4.

4. Wickens, C. D. Multiple resources and performance prediction / C. D. Wickens // Theoretical Issues in Ergonomics Science. – 2002. – Vol. 3, No. 2. – P. 159–177. – DOI 10.1080/14639220210123806.

5. Engström, J. Effects of cognitive load on driving performance: the cognitive control hypothesis / J. Engström, G. Markkula, T. Victor, N. Merat // Human Factors. – 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 734–764. – DOI 10.1177/0018720817690639.

6. Strayer, D. L. Cell–phone–induced driver distraction / D. L. Strayer, F. A. Drews // Current Directions in Psychological Science. – 2007. – Vol. 16, No. 3. – P. 128–131. – DOI 10.1111/j.1467–8721.2007.00489.x.

7. Kim, S. Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation / S. Kim, A. K. Dey // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – New York : ACM, 2009. – P. 133–142. – DOI 10.1145/1518701.1518724.

8. Directing driver attention with augmented reality cues / M. L. Rusch, M. C. Schall, P. Gavin [et al.] // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. – 2013. – Vol. 16. – P. 127–137. – DOI 10.1016/j.trf.2012.08.007.

9. Augmented reality cues and elderly driver hazard perception / M. C. Schall, M. L. Rusch, J. D. Lee [et al.] // Human Factors. – 2013. – Vol. 55, No. 3. – P. 643–658. – DOI 10.1177/0018720812462029.

10. Yeh, M. Head up versus head down: the costs of imprecision, unreliability, and visual clutter on cue effectiveness for display signaling / M. Yeh, J. L. Merlo, C. D. Wickens, D. L. Brandenburg // Human Factors. – 2003. – Vol. 45, No. 3. – P. 390–407. – DOI 10.1518/hfes.45.3.390.27249.

11. Kim, H. Assessing distraction potential of augmented reality head–up displays for vehicle drivers / H. Kim, J. L. Gabbard // Human Factors. – 2022. – Vol. 64, No. 5. – P. 852–865. – DOI 10.1177/0018720819844845.

12. How does navigating with augmented reality information affect drivers' glance behaviour in terms of attention allocation? / K. Bauerfeind, J. Drüke, L. Bendewald, M. Baumann // Frontiers in Virtual Reality. – 2022. – Vol. 3. – Art. 930117. – DOI 10.3389/frvir.2022.930117.

13. Endsley, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems / M. R. Endsley // Human Factors. – 1995. – Vol. 37, No. 1. – P. 32–64. – DOI 10.1518/001872095779049543.

14. Hart, S. G. Development of NASA–TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research / S. G. Hart, L. E. Staveland // Advances in Psychology. – 1988. – Vol. 52. – P. 139–183. – DOI 10.1016/S0166–4115(08)62386–9.

15. ISO 17488:2016. Road vehicles – Transport information and control systems – Detection–response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving. – Geneva : ISO, 2016. – 76 p.

16. Beatty, J. Task–evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources / J. Beatty // Psychological Bulletin. – 1982. – Vol. 91, No. 2. – P. 276–292. – DOI 10.1037/0033–2909.91.2.276.

17. Mehler, B. Sensitivity of physiological measures for detecting systematic variations in cognitive demand from a working memory task: an on–road study across three age groups / B. Mehler, B. Reimer, J. F. Coughlin // Human Factors. – 2012. – Vol. 54, No. 3. – P. 396–412. – DOI 10.1177/0018720812442086.

18. Посметьев, В. И. Повышение эффективности управления потоком данных спутникового мониторинга транспортных средств / В. И. Посметьев, Д. А. Жайворонок // Инновационные технологии на автомобильном транспорте : материалы Всероссийской научно–технической конференции. – 2022. – № 1 (21). – С. 7–14.

REFERENCES

1. Efremov, S. B. Type of communication between driver and car, based on the augmented reality: new trend in building intelligent transportation systems / S. B. Efremov // Journal of Modern Foreign Psychology. – 2017. – Vol. 6, No. 1. – P. 6–14. – DOI 10.17759/jmfp.2017060101. (In Russ.)

2. Gabbard, J. L. Behind the glass: driver challenges and opportunities for AR automotive applications / J. L. Gabbard, G. M. Fitch, H. Kim // Proceedings of the IEEE. – 2014. – Vol. 102, No. 2. – P. 124–136. – DOI 10.1109/JPROC.2013.2294642.

3. Sweller, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning / J. Sweller // Cognitive Science. – 1988. – Vol. 12, No. 2. – P. 257–285. – DOI 10.1207/s15516709cog1202_4.

4. Wickens, C. D. Multiple resources and performance prediction / C. D. Wickens // Theoretical Issues in Ergonomics Science. – 2002. – Vol. 3, No. 2. – P. 159–177. – DOI 10.1080/14639220210123806.

5. Engström, J. Effects of cognitive load on driving performance: the cognitive control hypothesis / J. Engström, G. Markkula, T. Victor, N. Merat // Human Factors. – 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 734–764. – DOI 10.1177/0018720817690639.

6. Strayer, D. L. Cell–phone–induced driver distraction / D. L. Strayer, F. A. Drews // Current Directions in Psychological Science. – 2007. – Vol. 16, No. 3. – P. 128–131. – DOI 10.1111/j.1467–8721.2007.00489.x.

7. Kim, S. Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation / S. Kim, A. K. Dey // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – New York : ACM, 2009. – P. 133–142. – DOI 10.1145/1518701.1518724.

8. Directing driver attention with augmented reality cues / M. L. Rusch, M. C. Schall, P. Gavin [et al.] // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. – 2013. – Vol. 16. – P. 127–137. – DOI 10.1016/j.trf.2012.08.007.

9. Augmented reality cues and elderly driver hazard perception / M. C. Schall, M. L. Rusch, J. D. Lee [et al.] // Human Factors. – 2013. – Vol. 55, No. 3. – P. 643–658. – DOI 10.1177/0018720812462029.

10. Yeh, M. Head up versus head down: the costs of imprecision, unreliability, and visual clutter on cue effectiveness for display signaling / M. Yeh, J. L. Merlo, C. D. Wickens, D. L. Brandenburg // Human Factors. – 2003. – Vol. 45, No. 3. – P. 390–407. – DOI 10.1518/hfes.45.3.390.27249.

11. Kim, H. Assessing distraction potential of augmented reality head–up displays for vehicle drivers / H. Kim, J. L. Gabbard // Human Factors. – 2022. – Vol. 64, No. 5. – P. 852–865. – DOI 10.1177/0018720819844845.

12. How does navigating with augmented reality information affect drivers' glance behaviour in terms of attention allocation? / K. Bauerfeind, J. Drüke, L. Bendewald, M. Baumann // Frontiers in Virtual Reality. – 2022. – Vol. 3. – Art. 930117. – DOI 10.3389/frvir.2022.930117.

13. Endsley, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems / M. R. Endsley // Human Factors. – 1995. – Vol. 37, No. 1. – P. 32–64. – DOI 10.1518/001872095779049543.

14. Hart, S. G. Development of NASA–TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research / S. G. Hart, L. E. Staveland // Advances in Psychology. – 1988. – Vol. 52. – P. 139–183. – DOI 10.1016/S0166–4115(08)62386–9.

15. ISO 17488:2016. Road vehicles – Transport information and control systems – Detection–response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving. – Geneva : ISO, 2016. – 76 p.

16. Beatty, J. Task–evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources / J. Beatty // Psychological Bulletin. – 1982. – Vol. 91, No. 2. – P. 276–292. – DOI 10.1037/0033–2909.91.2.276.

17. Mehler, B. Sensitivity of physiological measures for detecting systematic variations in cognitive demand from a working memory task: an on–road study across three age groups / B. Mehler, B. Reimer, J. F. Coughlin // Human Factors. – 2012. – Vol. 54, No. 3. – P. 396–412. – DOI 10.1177/0018720812442086.

18. Posmetyev, V. I. Improving the efficiency of managing the flow of data from satellite monitoring of vehicles / V. I. Posmetyev, D. A. Zhayvoronok // Innovative Technologies in Automobile Transport : Proceedings of the All–Russian Scientific and Technical Conference. – 2022. – No. 1 (21). – P. 7–14. (In Russ.)

DOI: 10.58168/DPIITT2026_94-97
УДК 621.793.74:621.791.927.55

КОНФЛИКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛЕВОПОВОРОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА И ПЕШЕХОДОВ НА РЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.Н. Паринов[1], Д.В. Лихачев[1], А.Ю. Артемов[1], В.Е. Гришин[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, lihachev_dv@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к исследованию конфликтного взаимодействия транспортных средств, выполняющих левый поворот, и пешеходов на регулируемых перекрёстках. Выполнен анализ отечественных и зарубежных научных работ, посвящённых вопросам безопасности дорожного движения, оценке конфликтности транспортных потоков, моделированию поведения участников движения и совершенствованию методов светофорного регулирования.

Ключевые слова: левый поворот, пешеходный поток, регулируемый перекрёсток, конфликтные ситуации, безопасность дорожного движения, светофорное регулирование.

CONFLICTING INTERACTIONS BETWEEN LEFT-TURNING TRAFFIC FLOWS AND PEDESTRIANS AT SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTIONS: CURRENT STATE OF THE ART AND RESEARCH PERSPECTIVES

N.N. Parinov[1], D.V. Likhachev[1], A.Yu. Artemov[1], V.E. Grishin[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, lihachev_dv@mail.ru

Abstract. The article examines current approaches to studying the conflicting interaction between left–turning vehicles and pedestrians at signalized intersections. It analyzes domestic and foreign research on road traffic safety, traffic conflict assessment, modeling of road user behavior, and improvement of traffic signal control methods.

Keywords: left turn, pedestrian flow, signalized intersection, conflict situations, road traffic safety, traffic signal control

Регулируемые перекрёстки относятся к числу наиболее сложных элементов городской транспортной инфраструктуры. Именно в пределах пересечений концентрируется значительная часть конфликтных точек, определяющих как уровень безопасности движения, так и эффективность функционирования всей улично–дорожной сети. По данным Highway Capacity Manual и Highway Safety Manual, перекрёстки являются участками, на которых наблюдается наиболее высокая плотность взаимодействий между различными категориями участников движения [1, 2].

Левый поворот по праву относят к числу самых сложных манёвров. Водителю На левом повороте водителю приходится одновременно держать в поле зрения встречный поток, светофор и пешеходов на переходе. Чем плотнее движение, тем больше возникает конфликтных ситуаций [3–5].

Отдельно стоит случай, когда левопоротные автомобили и пешеходы получают разрешение на движение в одну и ту же фазу. В общей конфликтной зоне возникает вопрос приоритета. По ПДД преимущество у пешехода, но на практике многое зависит от субъективной оценки обстановки и личной манеры принятия решений. Исследования последних лет подтверждают, что

© Паринов Н. Н., Лихачев Д. В., Артемов А. Ю., Гришин В. Е., 2026

взаимодействие левопоротных автомобилей и пешеходов влияет на пропускную способность регулируемых перекрёстков [6–8]. Чем интенсивнее пешеходный поток, тем чаще транспорт останавливается, тем медленнее выполняется манёвр и тем выше риск очередей на подходах к перекрёстку.

Эволюция методов управления транспортными потоками на пересечениях автомобильных дорог и городских улиц отражает постоянный поиск баланса между растущей автомобилизацией и требованиями к безопасности и эффективности дорожного движения. Нормативы по светофорам и геометрии перекрёстков разработаны, но тему это не закрывает. Конфликтные точки и задержки по–прежнему влияют на аварийность и пропускную способность. Поэтому исследования продолжаются. Их логика простая: траектории и фазы нужно разделять так, чтобы потоки пересекались как можно реже. По данным Федерального управления автомобильных дорог США, на регулируемых перекрёстках многие аварии связаны с конфликтами между машинами на повороте и пешеходами [3]. Европейские исследователи, которые занимаются безопасностью уязвимых участников движения, пишут о том же [9, 10]. Tageldin и Sayed проверили, как организация левого поворота влияет на безопасность и работу перекрёстка [6]. Вывод такой: даже небольшой рост числа конфликтов заметно ухудшает работу узла. Отдельное направление исследований связано с анализом поведения участников движения в конфликтных ситуациях. В работах Laureshyn и соавторов было установлено, что традиционный анализ дорожно–транспортных происшествий не всегда позволяет объективно оценить уровень опасности на перекрёстках. В связи с этим всё большее распространение получают методы, основанные на исследовании потенциально опасных взаимодействий, не завершившихся аварией [11].

Для оценки уровня конфликтности в настоящее время широко используются суррогатные показатели безопасности. Наиболее распространёнными являются показатели Time–to–Collision (TTC) и Post–Encroachment Time (PET), позволяющие количественно характеризовать степень опасности взаимодействия между участниками движения [11, 12, 13]. Использование данных показателей позволяет выявлять потенциально опасные ситуации ещё до возникновения дорожно–транспортных происшествий.

Видеофиксация дала исследователям новый источник данных о конфликтах на перекрёстках. Zhang и соавторы использовали автоматическую обработку записей, чтобы разобрать поведение автомобилей и пешеходов на регулируемых перекрёстках [14]. Zaki и Sayed пришли к близким выводам: компьютерное зрение позволяет находить опасные сближения между машинами и пешеходами [15]. Для анализа транспортных потоков применяют и микромоделирование. В VISSIM, Aimsun и SUMO можно воспроизвести взаимодействие участников в виртуальной среде и посмотреть, как отреагирует движение на изменение схемы организации. Натурный эксперимент при этом не нужен, а значит, снижаются затраты [16, 17]. Мер по повышению безопасности левого поворота несколько. Самый надёжный путь – отдельная защищённая фаза. В этом случае автомобили и пешеходы не пересекаются во времени, и конфликт между ними исчезает [3, 7].

Но у такого решения есть обратная сторона – светофорный цикл удлиняется, а пропускная способность перекрёстка падает. Поэтому параллельно развивается другое направление – адаптивное управление. Современные системы отслеживают текущие параметры транспортных и пешеходных потоков и корректируют работу светофора в реальном времени [18, 19, 20]. Многие исследователи связывают с этим перспективы развития городских транспортных систем.

На наш субъективный взгляд, нельзя сказать, что тема закрыта. Поведение водителей при левом повороте в условиях плотного пешеходного потока изучено недостаточно. Пока таких моделей мало. Почти никто не учитывает, что водители все разные – и это тоже влияет на то, будет конфликт или нет. Ещё один пробел – программы, которые сами могли бы оценивать безопасность перекрёстка. Тут помогли бы записи с камер и методы ИИ. Обзор показал: тема левых поворотов и пешеходов всё ещё не закрыта. Важна и безопасность, и то, сколько машин перекрёсток успевает пропустить. Дальше, скорее всего, будут работать с видео, моделированием движения и умным управлением светофорами. Так можно учитывать реальное поведение людей и принимать более толковые решения. Чтобы левые повороты стали безопаснее, нужно смотреть на всё сразу: и на технические решения, и на то, как ведут себя люди, и на сами потоки. Тогда получится хоть немного сгладить разрыв между пропускной способностью перекрёстков и растущим числом машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Highway Capacity Manual. Highway Capacity Manual (HCM). 7th Edition. Washington, DC: Transportation Research Board, 2022. 2100 p.
2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Highway Safety Manual. Washington, DC: AASHTO, 2014. 1450 p.
3. Federal Highway Administration. Signalized Intersections: Informational Guide. 2nd Edition. Washington, DC: FHWA, 2013. 430 p.
4. Traffic Flow Fundamentals / A.D. May. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1990. 464 p.
5. Institute of Transportation Engineers. Traffic Engineering Handbook. 8th Edition. Hoboken: Wiley, 2016. 1104 p.
6. Tageldin A., Sayed T. Operational and Safety Assessment of Left–Turn Lane Length at Signalized Intersections // Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems. 2018. Vol. 144. No. 11.
7. Samuel S. A Review of Left–Turn Treatments at Signalized Intersections: Operational and Safety Impacts // Transportation Research Record. 2022. Vol. 2676. No. 4. P. 459–472.
8. ГОСТ Р 52289–2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 126 с.
9. World Road Association. Road Safety Manual. Paris, 2019. – URL: https://roadsafety.piarc.org/.
10. Organisation for Economic Co–operation and Development. Safety of Vulnerable Road Users. Paris: OECD Publishing, 2020.
11. Laureshyn A., Svensson Å., Hydén C. Evaluation of Traffic Safety Based on Micro–Level Behavioural Data: Theoretical Framework and First Implementation // Accident Analysis & Prevention. 2010. Vol. 42. No. 6. P. 1637–1646.
12. Accident Analysis and Prevention. Numerous articles on pedestrian–vehicle conflicts at signalized intersections. Elsevier, 2015–2025.
13. Gettman D., Head L. Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models // Transportation Research Record. 2003. No. 1840. P. 104–115.
14. Zhang Y., Lu J., Rong J. Analysis of Pedestrian–Vehicle Conflicts at Signalized Intersections Based on Video Observation // Accident Analysis & Prevention. 2019. Vol. 128. P. 143–152.
15. Zaki M.H., Sayed T. Automated Safety Diagnosis of Vehicle–Pedestrian Interactions Using Computer Vision Analysis // Transportation Research Record. 2016. Vol. 2601. P. 52–60.
16. PTV Vissim. User Manual. Karlsruhe: PTV Group, 2024.
17. Aimsun Next. Dynamic Traffic Assignment and Microsimulation Modeling Manual. Barcelona: Aimsun, 2024.
18. Federal Highway Administration. Innovative Intersection and Interchange Geometries. Washington, DC: FHWA, 2021.
19. ГОСТ Р 52282–2004. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2021.
20. Министерство транспорта Российской Федерации. Методические рекомендации по организации дорожного движения на регулируемых пересечениях. М., 2023.

REFERENCES

1. Highway Capacity Manual. Highway Capacity Manual (HCM). 7th Edition. Washington, DC: Transportation Research Board, 2022. 2100 p.
2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Highway Safety Manual. Washington, DC: AASHTO, 2014. 1450 p.
3. Federal Highway Administration. Signalized Intersections: Informational Guide. 2nd Edition. Washington, DC: FHWA, 2013. 430 p.
4. Traffic Flow Fundamentals / A.D. May. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1990. 464 p.

5. Institute of Transportation Engineers. Traffic Engineering Handbook. 8th Edition. Hoboken: Wiley, 2016. 1104 p.

6. Tageldin A., Sayed T. Operational and Safety Assessment of Left–Turn Lane Length at Signalized Intersections // Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems. 2018. Vol. 144. No. 11.

7. Samuel S. A Review of Left–Turn Treatments at Signalized Intersections: Operational and Safety Impacts // Transportation Research Record. 2022. Vol. 2676. No. 4. P. 459–472.

8. GOST R 52289-2019. Technical means of traffic management. Rules for the use of road signs, markings, traffic lights, road barriers and guiding devices. – Moscow : Standartinform, 2020. – 126 p.

9. World Road Association. Road Safety Manual. Paris, 2019. – – URL: https://roadsafety.piarc.org/.

10. Organisation for Economic Co–operation and Development. Safety of Vulnerable Road Users. Paris: OECD Publishing, 2020.

11. Laureshyn A., Svensson Å., Hydén C. Evaluation of Traffic Safety Based on Micro–Level Behavioural Data: Theoretical Framework and First Implementation // Accident Analysis & Prevention. 2010. Vol. 42. No. 6. P. 1637–1646.

12. Accident Analysis and Prevention. Numerous articles on pedestrian–vehicle conflicts at signalized intersections. Elsevier, 2015–2025.

13. Gettman D., Head L. Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models // Transportation Research Record. 2003. No. 1840. P. 104–115.

14. Zhang Y., Lu J., Rong J. Analysis of Pedestrian–Vehicle Conflicts at Signalized Intersections Based on Video Observation // Accident Analysis & Prevention. 2019. Vol. 128. P. 143–152.

15. Zaki M.H., Sayed T. Automated Safety Diagnosis of Vehicle–Pedestrian Interactions Using Computer Vision Analysis // Transportation Research Record. 2016. Vol. 2601. P. 52–60.

16. PTV Vissim. User Manual. Karlsruhe: PTV Group, 2024.

17. Aimsun Next. Dynamic Traffic Assignment and Microsimulation Modeling Manual. Barcelona: Aimsun, 2024.

18. Federal Highway Administration. Innovative Intersection and Interchange Geometries. Washington, DC: FHWA, 2021.

19. GOST R 52282–2004. Road Traffic Lights. Types and Main Parameters. General Technical Requirements. Moscow: Standartinform, 2021.

20. Ministry of Transport of the Russian Federation. Methodological Recommendations for Traffic Management at Signalized Intersections. Moscow, 2023.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_98-102
УДК 621.793.74:621.791.927.55

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ: ТЕОРИЯ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРЕЖДАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

Н.Н. Паринов[1], Д.В. Лихачев[1], Е.В. Чирков[2], В.Е. Гришин[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, lihachev_dv@mail.ru
[2]Временно исполняющий полномочия главы г. Нововоронежа
Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Валерьевич Лихачев, lihachev_dv@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены современные подходы к моделированию транспортных потоков в крупных и средних городах. Выполнен анализ отечественных и зарубежных научных работ, посвящённых вопросам управления дорожным движением, оценки пропускной способности улично–дорожной сети и совершенствования методов светофорного регулирования. Особое внимание уделено моделям транспортного потока на основе теории клеточных автоматов, их преимуществам и перспективам применения для решения задач упреждающего развития улично–дорожной сети городов. Рассмотрены новые модели смены полосы движения и адаптивного торможения, а также унифицированное представление моделей рассматриваемой группы.

Ключевые слова: транспортный поток, улично–дорожная сеть, клеточные автоматы, моделирование, управление движением, развитие городов, смена полосы движения, адаптивное торможение.

MODERN APPROACHES TO TRAFFIC FLOW MODELING IN LARGE CITIES: CELLULAR AUTOMATA THEORY AS A TOOL FOR PROACTIVE DEVELOPMENT OF THE URBAN ROAD NETWORK

N.N. Parinov[1], D.V. Likhachev[1], E.V. Chirkov[2], V.E. Grishin[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, lihachev_dv@mail.ru
[2]Acting Head of the City of Novovoronezh
Corresponding author: Dmitry Valeryevich Likhachev, lihachev_dv@mail.ru

Abstract. The article examines current approaches to traffic flow modeling in large and medium–sized cities. It analyzes domestic and foreign research on traffic management, assessment of urban road network capacity, and improvement of traffic signal control methods. Particular attention is given to traffic flow models based on cellular automata theory, their advantages and prospects for application in solving problems of proactive development of urban road networks. New lane–changing and adaptive deceleration models are considered, as well as a unified representation of models of this group.

Keywords: traffic flow, urban road network, cellular automata, modeling, traffic management, urban development, lane changing, adaptive deceleration.

Проблема «пробок» в крупных городах с каждым годом становится всё острее. Количество машин растёт, а дороги остаются теми же. По данным исследований, серьёзные трудности с пропускной способностью начинаются, когда на тысячу жителей приходится 50–100 автомобилей. В России этот порог давно пройден: если в 1970–х годах

© Паринов Н. Н., Лихачев Д. В., Чирков Е. В., Гришин В. Е., 2026

на тысячу человек приходилось около 5 машин, то к 2025 году – уже больше 350 [1, 2]. И это не только российская проблема – похожая ситуация во многих странах мира [3]. И стоит отметить в европейских странах уровень автомобилизации приближается к цифре 800 автомобилей на тысячу жителей. Поэтому поиск эффективных методов управления транспортными потоками – задача, которая не теряет актуальности.

Когда речь заходит о борьбе с пробками, обычно рассматривают два пути. Первый – строить новые дороги и развязки. Второй – регулировать движение на уже существующей сети. Строительство требует огромных денег и не всегда возможно, особенно для городов с ограниченным бюджетом. Регулирование может осуществляться через автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД) или с помощью математических моделей транспортных потоков [4, 5]. Но АСУДД – вещь полезная, но дорогая. Их внедрение и обслуживание обходятся в кругленькую сумму. К тому же такие системы работают «здесь и сейчас»: они оптимизируют текущую ситуацию, но не отвечают на вопрос, как должна развиваться дорожная сеть в перспективе. Получается, что город тратит деньги на автоматизацию, а стратегическая задача – своевременное развитие инфраструктуры – так и остаётся нерешённой [6, 7].

Ещё одна проблема: решения о модернизации УДС часто принимаются на основе экспертных оценок, без проверки на моделях. Это может привести к ошибкам, которые потом очень трудно исправить. Поэтому нужны гибкие и недорогие инструменты, которые позволяют не только описывать текущую ситуацию, но и прогнозировать последствия тех или иных решений [8].

Математическое моделирование транспортных потоков – направление с богатой историей. Первые макроскопические модели, в которых поток рассматривался как сплошная среда, появились ещё в середине прошлого века. Со временем сформировались три основных класса моделей: макроскопические (модели–аналоги), микроскопические (модели следования за лидером) и вероятностные [4, 5]. У каждого класса есть свои плюсы и минусы. Но для задач развития УДС особенно важны модели, которые описывают поведение отдельных автомобилей и при этом не слишком сложны для практического использования. В последнее время в исследованиях всё чаще применяются междисциплинарные подходы, заимствованные из нелинейной динамики и других областей. Это говорит о том, что для эффективного моделирования транспорта нужно объединять методы разных наук [9]. Среди всего многообразия моделей особое место занимают модели на основе теории клеточных автоматов (ТКА). Идея клеточного автомата была предложена фон Нейманом, а позже успешно применена к моделированию транспортных потоков [10, 11]. В отличие от классических аналитических моделей, клеточный автомат позволяет рассматривать движение каждого транспортного средства как последовательность изменений состояния во времени. Дорожное пространство разбивается на дискретные ячейки, каждая из которых может находиться в одном из ограниченного числа состояний. В процессе моделирования определяется положение транспортного средства, его скорость, дистанция до впереди движущегося автомобиля и другие параметры, характеризующие поведение участников движения. На основе этих данных могут рассчитываться как микроскопические показатели транспортного потока, так и его макроскопические характеристики – средняя скорость, плотность, интенсивность и пропускная способность.

Модели на основе ТКА относятся к семейству микроскопических, хотя и сильно отличаются от других представителей этой группы. Их главная особенность – дискретность пространства и времени. Дорога разбивается на ячейки одинаковой длины (обычно около 7,5 м), а время – на такты продолжительностью примерно 1 секунда. Это примерно соответствует среднему времени реакции водителя. В каждый момент времени ячейка

либо свободна, либо занята машиной. Модели бывают одноклеточными (автомобиль занимает одну ячейку) и многоклеточными (занимает несколько ячеек) [10, 11]. Одно из главных достоинств ТКА–моделей – возможность параллельных вычислений. Все ячейки переходят в новое состояние одновременно, и это состояние зависит только от предыдущего такта. Такая архитектура хорошо ложится на многопроцессорные системы и кластеры, что важно при моделировании крупных участков УДС. Модели на основе клеточных автоматов (СА–модели) часто применяют для моделирования транспортных потоков. Они неплохо показывают себя и при анализе конфликтов между водителями и пешеходами, особенно на перекрёстках. Кроме того, СА–модели удобны для изучения сложных взаимодействий в условиях смешанного движения, где вместе с машинами едут пешеходы и велосипедисты [12].

Среди фундаментальных моделей, на которых базируются дальнейшие исследования, можно назвать правило 184, модель Нагеля–Шрекенберга, модель медленного старта, модель Кернера–Клёнова–Вольфа и некоторые другие. Но, несмотря на общие концепции, единого языка описания этих моделей до сих пор нет. В качестве инструмента для приведения моделей к единому виду можно использовать рефакторинг – подход, хорошо известный в программировании и описанный, в частности, М. Фаулером [13]. Его принципы оказываются применимы и к математическим моделям транспортных потоков.

Анализ моделей, которые уже существуют, показал, что некоторые вещи проработаны слабо. Например, смена полосы движения. Казалось бы, что тут сложного – перестроился и поехал. Но на самом деле от того, как водители перестраиваются, зависит и безопасность, и пропускная способность. А в большинстве моделей этот момент учитывается как–то упрощённо, по остаточному принципу. Поэтому был предложен расширенный набор мотиваций, по которым водитель решает, стоит ли менять полосу. Туда вошли не только расстояние до машины впереди, но и качество покрытия на соседней полосе, нужно ли поворачивать на ближайшем перекрёстке, насколько плотный поток и нет ли препятствий. Всё это анализируется в комплексе, потому что в реальной жизни водитель редко руководствуется только одной причиной – обычно он смотрит на несколько факторов сразу [14].

Чтобы как–то сократить количество стохастических параметров, все мотивации разделили на три группы по тому, насколько сильно нужно перестроиться: «желательно», «необходимо» и «крайне необходимо». В итоге число параметров уменьшилось с шести до трёх, и модель стало проще калибровать. Ещё один плюс такого подхода – можно не зацикливаться на каждой конкретной мотивации, а работать на уровне групп.

Ещё одно направление, которое требует доработки, – это шаг торможения. В классических ТКА–моделях скорость падает до скорости лидера мгновенно. Понятно, что так в жизни не бывает. Поэтому было предложено ввести такие понятия, как «количество тактов без конфликтов» и «коэффициент агрессивности торможения». Это позволяет смоделировать плавное снижение скорости, когда впереди идущая машина начинает тормозить. Плюс ко всему поменялся смысл сигнала торможения: вместо какого–то условного псевдо–стоп–сигнала модель стала воспроизводить настоящий стоп–сигнал, который загорается при снижении скорости и влияет на других водителей. В итоге после декомпозиции и анализа шаги моделей на основе ТКА удалось разбить на четыре типа: изменение скорости, валидация, оповещение и движение. Такое четырёхступенчатое представление, конечно, накладывает ограничения на порядок шагов, но зато структура моделей становится более понятной и унифицированной. Это удобно, когда нужно сравнить разные модели или адаптировать их под конкретные условия.

Чтобы проверить, насколько адекватны модели с адаптивным торможением, нужны длинные участки дороги и много шагов моделирования. Иначе поток просто не

успеет выйти в стабильное состояние. В качестве базовой конфигурации взяли однополосную дорогу длиной 800 ячеек. Анализ показал, что макроскопические свойства потока воспроизводятся: фундаментальная диаграмма получается треугольной формы, а если менять параметры, можно регулировать пропускную способность полосы при разной плотности движения [9, 10].

Отдельного внимания заслуживает выбор способа задания плотности потока. Здесь возможны два варианта: условно кольцевое представление полосы, когда автомобили генерируются случайным образом и не покидают модель, и представление с открытым выходом, когда достигшая конца полосы машина исчезает. Первый вариант позволяет получать потоки большой плотности, второй – более реалистично моделирует выезд за пределы рассматриваемого участка [11].

Но несмотря на всё это, вопросов остаётся ещё много. Поведение водителей в сложных конфликтных ситуациях изучено слабо. Не хватает вероятностных моделей, которые бы учитывали индивидуальные особенности каждого участника движения. Перспективным выглядит направление, связанное с автоматизированной оценкой безопасности перекрёстков на основе видеоаналитики и методов искусственного интеллекта. И, конечно, никуда не уйти от практического применения моделей – нужно же как–то обосновывать проекты развития УДС. Это позволит перейти от реактивного регулирования к упреждающему, когда решения принимаются не постфактум, а с учётом долгосрочной стратегии развития транспортной инфраструктуры города.

Проведённый обзор показывает, что управление транспортными потоками в крупных и средних городах – задача сложная и многогранная. Традиционные подходы, включая дорогостоящие АСУДД, не всегда решают стратегические задачи. В этих условиях всё большее значение приобретают гибкие математические модели, в частности модели на основе теории клеточных автоматов. Они позволяют не только анализировать текущую ситуацию, но и моделировать различные сценарии развития УДС, что делает их ценным инструментом для обоснования управленческих решений. Дальнейшие исследования, на наш взгляд, должны быть направлены на повышение реалистичности моделей, их унификацию и более широкое внедрение в практику градостроительного проектирования и организации дорожного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Highway Capacity Manual. Highway Capacity Manual (HCM). 7th Edition. Washington, DC: Transportation Research Board, 2022. 2100 p.
2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Highway Safety Manual. Washington, DC: AASHTO, 2014. 1450 p.
3. Федеральное дорожное агентство. Автомобилизация населения России. – URL: https://rosavtodor.ru (дата обращения 05.06.2016).
4. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / А.В. Гасников [и др.] – Под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
5. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В.В. Семенов. – Москва, 2004. – 44 с. – (Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; № 34).
6. Высоцкая А.А. Методы управления улично–дорожной сетью и оказание качественных государственных услуг / А.А. Высоцкая // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2008. – №5. – С. 75–78.
7. Ставничий Ю.А. Транспортные системы городов. / Ю.А. Ставничий – М.: Стройиздат, 1990. – 220 с.
8. Логиновский О.В., Шинкарев А.А. Развитие подходов к управлению и организации движения транспорта в крупных городах // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – том 14, №4. – С. 51–58.

9. Kerner B.S. Introduction to modern traffic flow theory and control: the long road to three–phase traffic theory / B.S. Kerner – Springer, New York, 2009. – P. 278.

10. Долгушин Д.Ю., Мызникова Т.А. Применение клеточных автоматов к моделированию автотранспортных потоков. – Омск, 2012. – URL: http://bek.sibadi.org/fulltext/epd624.pdf (дата обращения 01.02.2015).

11. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // Journal de Physique I France. – 1992. – Vol. 2. P. 2221–2229.

12. Клеточно-автоматная модель взаимодействия водителя и пешехода на перекрестке в условиях нарушения ПДД / Н. Н. Паринов, Д. В. Лихачев, А. Ю. Артемов, Е. В. Чирков // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте – 2025 : Материалы Международной молодежной научно–практической конференции, посвященной 95–летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 23–24 октября 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 22–27. – DOI 10.58168/MSTT2025_22–27. – EDN DFAIVI.

13. Фаулер М. Рефакторинг: улучшение существующего кода / пер. с англ. – СПб: Символ–Плюс, 2003. – 432 с.

14. Knospe W., Santen L., Schadschneider A., Schreckenberg M. Empirical test for cellular automaton models of traffic flow // Physical Review. – 2004. – Vol. 70.

REFERENCES

1. Highway Capacity Manual. Highway Capacity Manual (HCM). 7th Edition. Washington, DC: Transportation Research Board, 2022. 2100 p.

2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Highway Safety Manual. Washington, DC: AASHTO, 2014. 1450 p.

3. Federal Road Agency. Automobilization of the population of Russia. – URL: https://rosavtodor.ru (date of access 05.06.2016).

4. Gasnikov A.V. Introduction to mathematical modeling of traffic flows: textbook / A.V. Gasnikov [et al.] – Ed. by A.V. Gasnikov. – Moscow: MIPT, 2010. – 362 p.

5. Semenov V.V. Mathematical modeling of the dynamics of traffic flows in a megalopolis / V.V. Semenov. – Moscow, 2004. – 44 p. – (Preprint / Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS; No. 34).

6. Vysotskaya A.A. Methods of managing the road network and providing quality public services / A.A. Vysotskaya // Proceedings of the Irkutsk State Economic Academy. – 2008. – No. 5. – P. 75–78.

7. Stavnichiy Yu.A. Transport systems of cities. / Yu.A. Stavnichiy – Moscow: Stroyizdat, 1990. – 220 p.

8. Loginovsky O.V., Shinkarev A.A. Development of approaches to traffic management and organization in large cities // Bulletin of SUSU. Series "Computer Technologies, Automatic Control, Radioelectronics". – 2014. – Vol. 14, No. 4. – P. 51–58.

9. Kerner B.S. Introduction to modern traffic flow theory and control: the long road to three–phase traffic theory / B.S. Kerner – Springer, New York, 2009. – P. 278.

10. Dolgushin D.Yu., Myznikova T.A. Application of cellular automata to modeling of traffic flows. – Omsk, 2012. – URL: http://bek.sibadi.org/fulltext/epd624.pdf (date of access 01.02.2015).

11. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // Journal de Physique I France. – 1992. – Vol. 2. P. 2221–2229.

12. Cellular automaton model of driver and pedestrian interaction at an intersection under conditions of traffic violation / N.N. Parinov, D.V. Likhachev, A.Yu. Artemov, E.V. Chirkov // Prospects for Development, Innovation and Information Technologies in Transport – 2025 : Proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of VGLTU named after G.F. Morozov, Voronezh, October 23–24, 2025. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2025. – P. 22–27. – DOI 10.58168/MSTT2025_22–27. – EDN DFAIVI.

13. Fowler M. Refactoring: Improving the Design of Existing Code / Transl. from English. – St. Petersburg: Symbol–Plus, 2003. – 432 p.

14. Knospe W., Santen L., Schadschneider A., Schreckenberg M. Empirical test for cellular automaton models of traffic flow // Physical Review. – 2004. – Vol. 70.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_103-107
УДК 656.09

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ НА ДОРОГАХ

Н.В. Школьных[1], И.Ю. Струкова[2], К.А. Закурдаева[3],
М.А. Васильева[4], Д.И. Кузеватов[5]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, zelikova–vrn@mail.ru
[2]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, siy.vrn@mail.ru
[3]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, 81ksusha.04@gmail.com
[4]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, vma14082001@gmail.com
[5]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, dkuzevatov@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрен анализ аварийности на дорогах в разных странах. Показан график смертности в результате дорожно–транспортных происшествий за 2021 год, диаграмма распределения погибших в ДТП в зависимости от категории участника и график показателей аварийности, зависящих от стажа водителя, по вине которого произошло дорожно–транспортное происшествие. Сделаны выводы о важности изучения и соблюдения правил дорожного движения.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, правила дорожного движения, эксплуатационное состояние дорог, уровень аварийности, транспортное средство, дорога общего пользования, статистика аварийности, водитель, стаж вождения, пешеход.

ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS

N.V. Shkolnykh[1], I.Yu. Strukova[2], K.A. Zakurdaeva[3], M.A. Vasilyeva[4], D.I. Kuzevatov[5]

[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, zelikova–vrn@mail.ru
[2] Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, siy.vrn@mail.ru
[3] Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, 81ksusha.04@gmail.com
[4] Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, vma14082001@gmail.com
[5] Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, dkuzevatov@gmail.com

Abstract. The article analyzes road accident statistics across various countries. It presents a graph showing traffic–related fatalities for 2021, a chart illustrating the distribution of fatalities by road user category, and a graph showing accident rates in relation to the driving experience of the at–fault driver. Conclusions are drawn regarding the importance of studying and observing traffic regulations.

Keywords: road traffic accidents, traffic regulations, operational condition of roads, accident rate, vehicle, public road, accident statistics, driver, driving experience, pedestrian.

© Школьных Н. В., Струкова И. Ю., Закурдаева К. А., Васильева М. А., Кузеватов Д. И., 2026

В настоящее время дорожно–транспортные происшествия (ДТП) – это один из основных источников смерти в России. Чаще всего при дорожно–транспортном происшествии погибают молодые люди. В данной статье обсудим насущный на сегодняшний момент вопрос безопасного поведения участников дорожного движения, а также культуры поведения в рамках организации движения.

Подробно изучив собранную статистику смертности в результате дорожно–транспортных происшествий в 2021 году, мы проанализировали данные и выяснили, что Европа имеет наиболее минимальные показатели смертности (около 6,8 смертей на 100 000 населения). В нашей стране за этот период времени показатель составил 10,6 смертей на 100 000 человек. Данные представлены на рисунке 1. Этот показатель имеет тенденцию к постепенному снижению. Так, в 2025 году он составил 9,8 смертей на 100 000 человек в нашей стране.

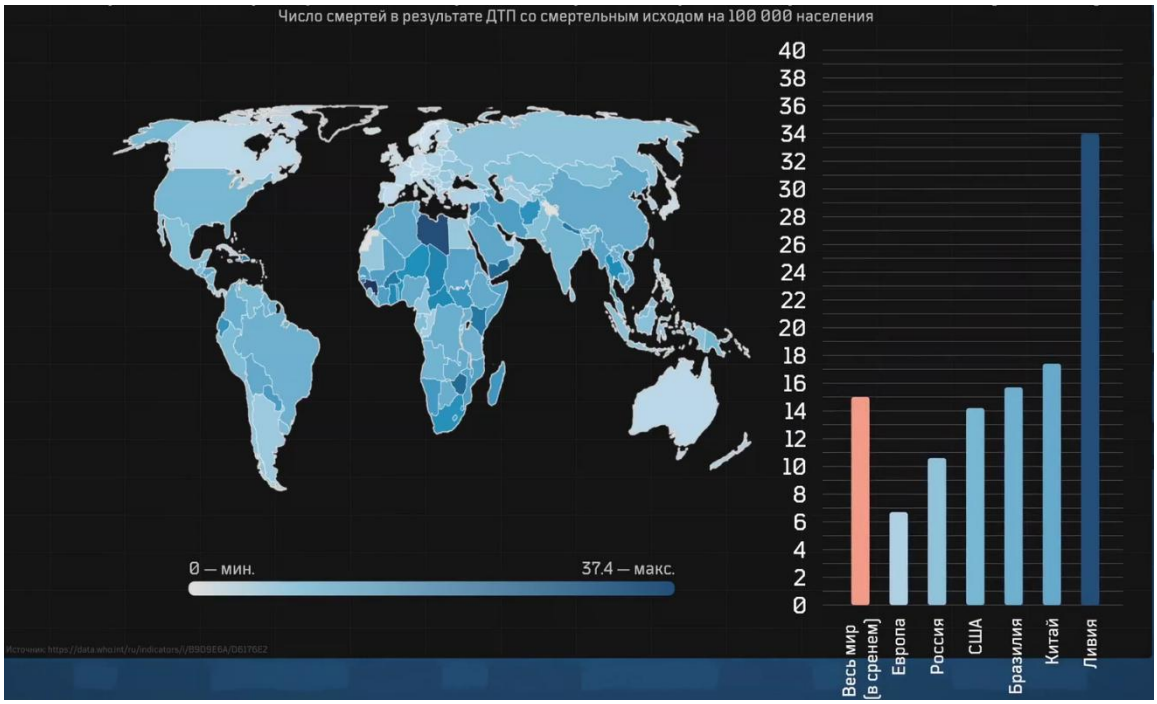


Рисунок 1 – Смертность в результате дорожно–транспортных происшествий (2021 год)
Figure 1 – Mortality from road traffic accidents (2021)

Согласно представленной диаграмме на рисунке 2, среди участников дорожного движения чаще всего погибают водители автомобильного транспорта (около 46,6 %). Количество погибших среди пассажиров транспортных средств и пешеходов на улице распределилось примерно одинаково (соответственно 26,9 % и 24,1 %).

Количество дорожно–транспортных происшествий изменяется в зависимости от времени года. С точки зрения ДТП и количества погибших самый опасный период – это теплое время года (июнь – октябрь). Месяц октябрь особенно опасен, так как является переходным периодом. В этом месяце начинаются утренние туманы, заморозки и возможно выпадение осадков в виде снега. На поверхности дорожного покрытия в утреннее время возможно образование ледяной корки. Особенно данный эффект может проявляться на участках мостовых переходов через реки за счет разницы температуры и наличия влаги.

Водители транспорта в это время привыкли к летнему стилю вождения, забывая о соблюдении правил безопасного вождения. В этот период года все транспортные средства еще передвигаются на летней резине, и в случае гололедных явлений возможно возникновение аварийных ситуаций.

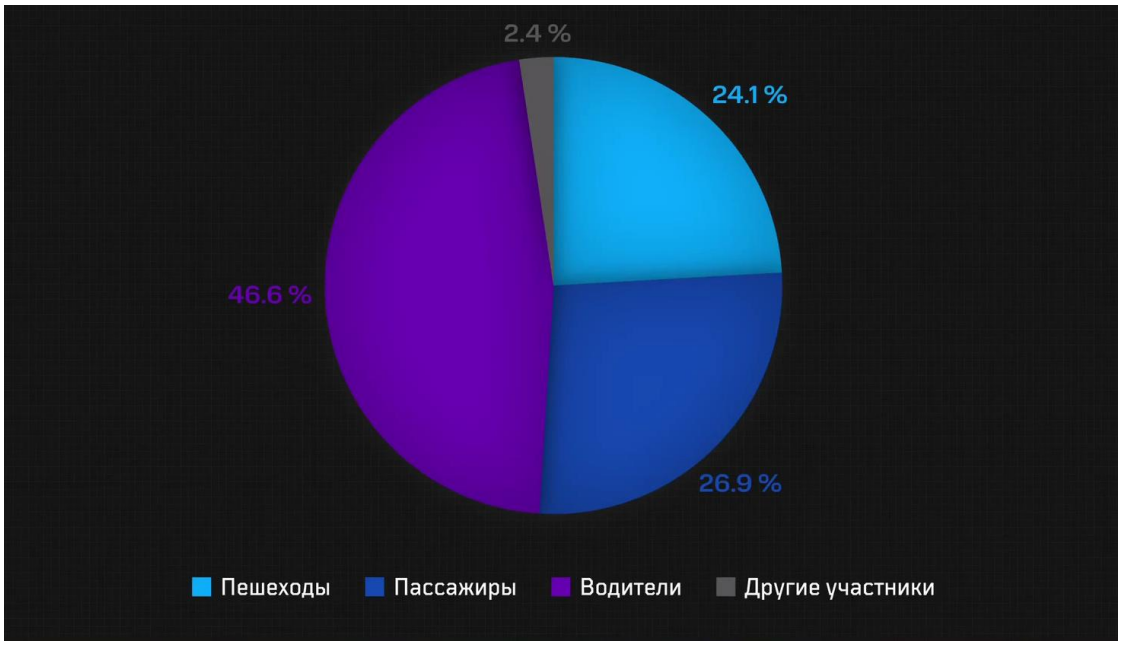


Рисунок 2 – Распределение погибших в ДТП в зависимости от категории участника дорожного движения
Figure 2 – Distribution of traffic accident fatalities by road user category

В зимнее время года интенсивность движения транспортного потока заметно снижается по причине плохой погоды. Некоторые водители не пользуются личным транспортом в зимних условиях. Скоростной режим движения по улично–дорожной сети как правило снижается из–за ухудшения дорожных условий.

Большее число пострадавших в ДТП наблюдается в светлое время суток, но тяжесть последствий серьезнее по ночам. Хотим отметить, что чаще всего виновниками ДТП являются водители, нарушающие правила дорожного движения [1]. А основная причина дорожно–транспортных происшествий – несоблюдение правил дорожного движения. На вероятность возникновения дорожно–транспортного происшествия влияют недостатки эксплуатационного состояния и обустройства дорог, также техническая неисправность автомобиля. По причине неудовлетворительного состояния дорожного покрытия происходит примерно 15 % – 20 % дорожно–транспортных происшествий.

Столкновения транспортных средств и наезд на пешеходов – это одни из самых частых типов ДТП, которые обычно происходят на прямом участке дороги с большим числом погибших. На сложных пересечениях и примыканиях дорог такие столкновения наблюдаются реже. Водители автомобилей, передвигаясь в более простых и комфортных условиях, теряют концентрацию, превышают допустимый для данного участка скоростной режим движения и становятся менее внимательным.

К наиболее популярным среди автолюбителей нарушениям правил дорожного движения относится несоответствие скоростного режима конкретным дорожным условиям и выезд на полосу встречного движения. Достаточно часто водители автотранспортных средств превышают разрешенную скорость движения в городских условиях, передвигаясь в ночное время суток, когда улично–дорожная сеть имеет низкий уровень загрузки автомобильным транспортом и практически на всех участках дорожной сети наблюдаются свободные условия движения.

Для снижения уровня аварийности на улично–дорожной сети водителям запрещено управлять автотранспортным средством в состоянии алкогольного опьянения, но, к сожалению, данное правило не всегда водителями соблюдается. Некоторые водители

не задумываются о последствиях, которые могут возникнуть по их вине и из–за халатного отношения к правилам дорожного движения. По причине таких ошибок люди получают тяжкие телесные повреждения, а в некоторых случаях даже погибают. Наносится огромный материальный ущерб транспортным средствам и дорожной инфраструктуре.

Следует обсудить еще один насущный в настоящее время вопрос, водитель с каким стажем вождения опаснее на дорогах общего пользования (рисунок 3). Изучив приведенную ниже графическую зависимость, можно сказать следующее, что чем больше стаж вождения, тем выше показатель аварийности. Данный факт обуславливается тем, что малоопытные водители намного лучше сконцентрированы вниманием на дороге. Перед тем, как совершить какой либо маневр на транспортном средстве, они стараются все просчитать. Опытные же водители ведут себя более уверенно, поэтому внимательность в какой-то момент уменьшается. Совершение маневра происходит автоматически.

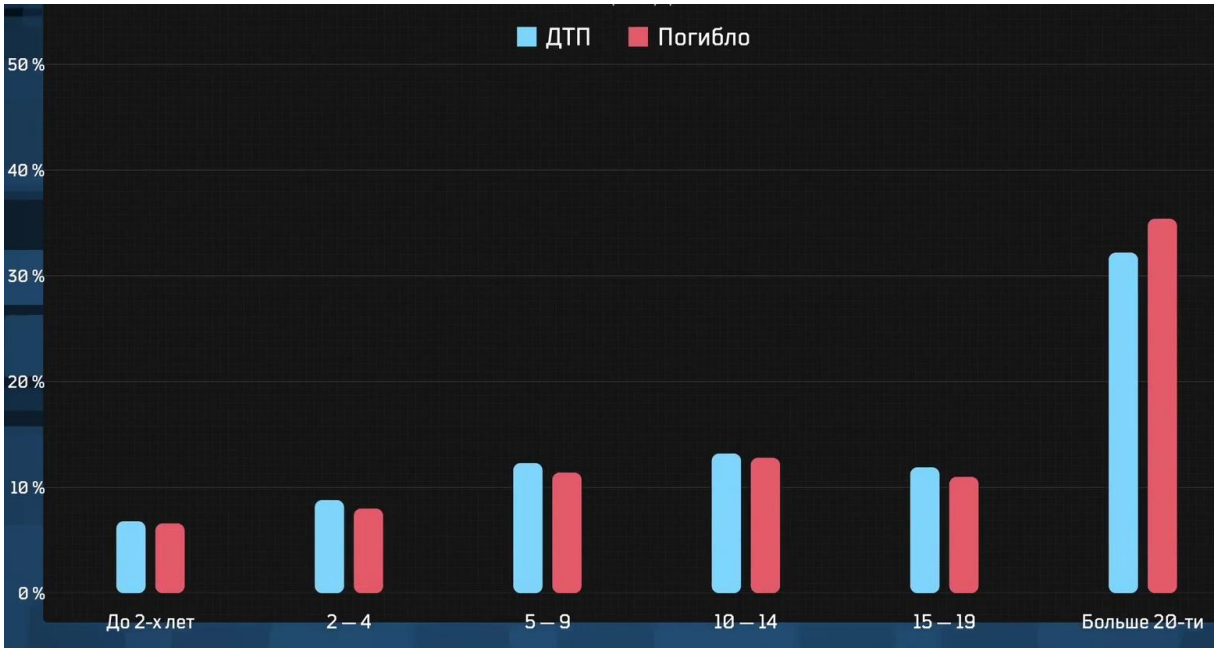


Рисунок 3 – Показатели аварийности, зависящие от стажа водителя, по вине которого произошло дорожно–транспортное происшествие
Figure 3 – Accident statistics based on the experience of the driver at fault in the traffic accident

Рассмотрев несколько представленных выше графических зависимостей в данной статье, мы делаем вывод, что абсолютно все без исключения автомобильные дороги общего пользования требуют к себе особого внимания от всех водителей транспортных средств и пешеходов, участвующих в дорожном движении. Соблюдение правил дорожного движения является очень важным элементом благополучия в общественной жизни человека. Изучение правил дорожного движения должно начинаться с самого юного возраста человека. В формате игрового изучения начало должно быть положено для детей в детских садах, центрах дошкольной подготовки подрастающего поколения, далее в начальных классах школы и более углубленный взрослый подход должен применяться для старшеклассников и выпускников школ.

Автошколам рекомендуем увеличить количество учебного времени, отводимого для изучения правил дорожного движения. На этапе подготовки кандидата в водители следует уделять внимание возникновению в процессе дорожного движения возможным экстремальным ситуациям. Практическая подготовка будущего водителя также должна

включать в себя уроки вождения автомобиля в сложных дорожных условиях. Надо стараться научить будущих водителей в дорожной обстановке предугадывать как будет развиваться возникшая ситуация. Культура соблюдения правил дорожного движения должна неотъемлемо войти в жизнь людей. Работая над решением проблемы безопасности дорожного движения, должен применяться комплексный системный подход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт Госавтоинспекции. – URL: https://xn—80aebkobnwfcnsfk1e0h.xn—p1ai/.

REFERENCES

1. Official website of the State Traffic Safety Inspectorate. – URL: https://xn—80aebkobnwfcnsfk1e0h.xn—p1ai/.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_108-112
УДК 656.1:519.2

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ДОРОЖНО–ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ «НАЕЗД НА ПЕШЕХОДА»

И.Е. Ильина[1], В.Г. Киреев[2], И.С. Морозов[3]

[1]Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия, ilyina.i.e@pgau.ru
[2]Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия, vlad.kivishev@mail.ru
[3]Пензенский государственный аграрный университет, Пензенский колледж транспортных технологий, Пенза, Россия, ivanmiriziv1826@gmail.com

Аннотация. Цель исследования – выявление скрытых факторов, определяющих условия возникновения наезда на пешехода, методом факторного анализа. Объект исследования – 362 ДТП «наезд на пешехода», описанные 20 признаками. Методы: корреляционный анализ, метод главных компонент с Varimax–вращением и критерий Кайзера. Результат: выделено 6 латентных факторов, объясняющих 47,5 % общей дисперсии.

Ключевые слова: дорожно–транспортные происшествия, наезд на пешехода, факторный анализ, метод главных компонент, Varimax–вращение, корреляционный анализ, безопасность дорожного движения.

FACTOR ANALYSIS OF THE CONDITIONS OF TRAFFIC ACCIDENTS «HIT AND RUN»

I.E. Ilyina[1], V.G. Kireev[2], I.S. Morozov[3]

[1]Penza State Agrarian University, Penza, Russia, ilyina.i.e@pgau.ru
[2]Penza State Agrarian University, Penza, Russia, vlad.kivishev@mail.ru
[3]Penza State Agrarian University, Penza College of Transport Technologies, Penza, Russia, ivanmiriziv1826@gmail.com

Abstract. The aim of the study is to identify the hidden factors that determine the conditions under which a pedestrian is hit, using factor analysis. The object of the study is 362 traffic accidents involving a pedestrian hit, described by 20 variables. Methods: correlation analysis, principal component analysis with Varimax rotation, and Kaiser criterion. Result: 6 latent factors were identified, explaining 47.5% of the total variance.

Keywords: road traffic accidents, pedestrian collision, factor analysis, principal component analysis, Varimax rotation, correlation analysis, road safety.

Проблема обеспечения безопасности дорожного движения приобретает особую остроту в условиях роста интенсивности транспортных потоков. Среди всех видов дорожно–транспортных происшествий (ДТП) наезд на пешехода занимает второе место по частоте после столкновения транспортных средств [1]. По данным статистического массива, в 2024 г. в г. Пензе и Пензенской области зарегистрировано 1646 ДТП, из которых 362 (22,0 %) составили наезды на пешеходов. Успешность профилактики таких происшествий зависит от полноты выявления факторов, определяющих условия их возникновения.

© Ильина И. Е., Киреев В. Г., Морозов И. С., 2026

Корреляционный анализ, выполненный на предварительном этапе исследования, выявил 11 значимых парных связей между 20 факторами, описывающими условия возникновения наезда на пешехода. Однако парные коэффициенты корреляции не позволяют оценить структуру взаимосвязей в целом и выделить группы признаков, объединённых общими скрытыми причинами. Для решения этой задачи применён факторный анализ, который позволяет снизить размерность данных и выявить латентные факторы, объединяющие наблюдаемые переменные [2]. В данной статье авторы используют собственные результаты исследований [3, 6 – 8], а также ссылаются на научные работы ученых по данной тематике [4, 5].

Исходные данные представлены массивом из 362 записей ДТП типа «наезд на пешехода», описанных 20 признаками, из которых 9 – числовые и 11 – категориальные. Категориальные признаки преобразованы методом label–encoding для включения в корреляционный и факторный анализ.

Факторный анализ выполнен методом главных компонент (Principal Component Analysis, PCA) с последующим Varimax–вращением факторного решения. Выбор числа факторов осуществлён по критерию Кайзера (собственное значение $\lambda \geq 1$) и подтверждён графиком (рисунок 1). Предварительно была построена матрица парных корреляций Пирсона для всех 20 признаков.

График собственных значений (рисунок 1) показывает, что первые 6 компонент имеют $\lambda \geq 1$, что соответствует критерию Кайзера. После 6–й компоненты наблюдается точка «излома», подтверждающая выбор шестифакторного решения.

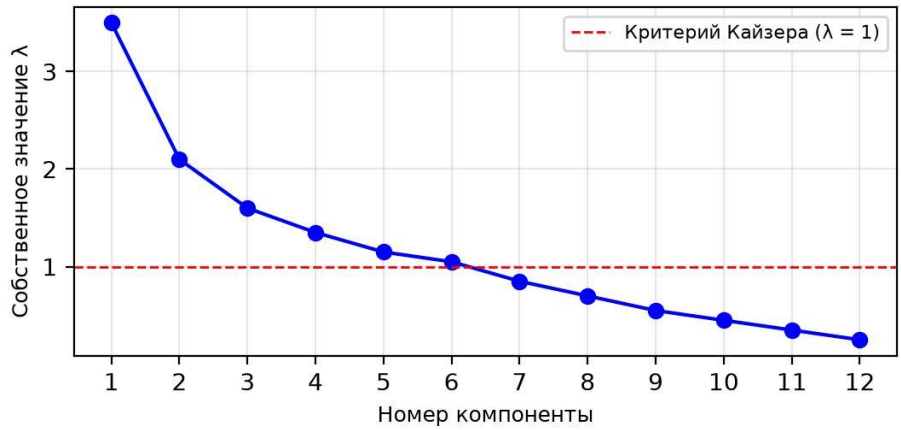


Рисунок 1 – График собственных значений

Figure 1 – Eigenvalue graph

Шесть выделенных факторов объясняют 47,5 % общей дисперсии исходных данных. Матрица факторных нагрузок после Varimax–вращения представлена в таблице 1 и визуализирована на рисунке 3. Для интерпретации использованы нагрузки с $|\lambda| \geq 0{,}5$.

Таблица 1 – Матрица факторных нагрузок после Varimax–вращения

Table 1 – Factor loadings matrix after Varimax rotation

Показатель	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**
Температура	0,05	0,82	0,10	0,15	0,02	0,01
Состояние проезжей части	0,08	0,85	0,05	0,10	0,01	0,03
Месяц	0,02	0,15	0,05	0,78	0,03	0,02

Погода	0,05	0,20	0,02	0,75	0,01	0,05
Количество полос	0,85	0,05	0,10	0,02	0,15	0,03
Ширина проезжей части	0,82	0,10	0,08	0,05	0,05	0,02
Полоса ДТП	0,68	0,05	0,02	0,03	0,55	0,05
Ширина разд. полосы	0,78	0,05	0,05	0,02	0,03	0,02
Тип разд. полосы	0,80	0,03	0,02	0,02	0,01	0,05
Ширина обочины	0,10	0,02	0,72	0,05	0,02	0,15
Ширина тротуара	0,15	0,05	−0,68	0,02	0,08	0,10
Режим движения	0,20	0,02	0,03	0,01	0,65	0,05
Доля дисперсии, %	**15,2**	**9,8**	**7,5**	**6,5**	**5,8**	**2,7**

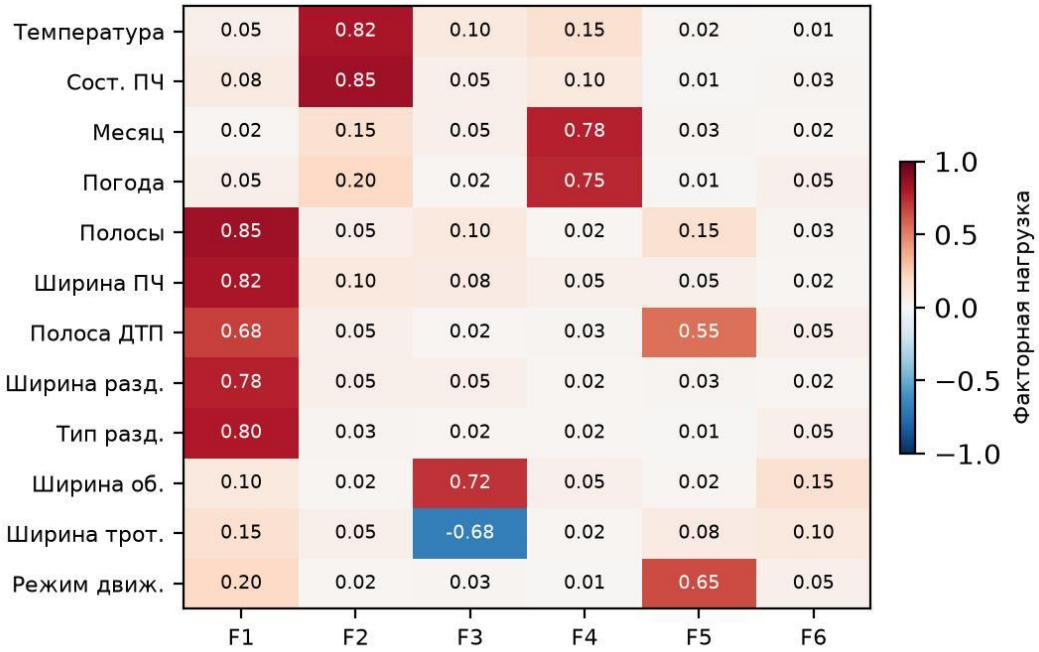


Рисунок 2 – Тепловая карта факторных нагрузок после Varimax–вращения

Figure 2 – Heat map of factor loadings after Varimax rotation

Первый фактор (F1, 15,2 % дисперсии) объединяет пять переменных, описывающих геометрию проезжей части: количество полос движения (λ = 0,85), ширину проезжей части (λ = 0,82), тип разделительной полосы (λ = 0,80), ширину разделительной полосы (λ = 0,78) и полосу совершения ДТП (λ = 0,68). Этот фактор можно интерпретировать как «геометрия проезжей части». Высокие нагрузки подтверждают результаты корреляционного анализа, где парные коэффициенты между этими переменными достигали r = 0,660.

Второй фактор (F2, 9,8 %) включает температуру воздуха (λ = 0,82) и состояние проезжей части (λ = 0,85). Фактор отражает сезонный климатический эффект: снижение температуры correlates с ухудшением состояния покрытия (гололедица, снежный накат). Эта пара показала максимальный коэффициент корреляции r = 0,734 на предварительном этапе, что подтверждает надёжность факторного решения.

Третий фактор (F3, 7,5 %) объединяет ширину обочины (λ = 0,72) и ширину тротуара (λ = −0,68). Обратная связь между этими переменными отражает разделение до-

рожной среды на городскую (широкие тротуары, отсутствие обочин) и загородную (широкие обочины, отсутствие тротуаров). Фактор можно назвать «обустройство придорожного пространства».

Четвёртый фактор (F4, 6,5 %) связан с месяцем ($\lambda = 0{,}78$) и погодой ($\lambda = 0{,}75$). Фактор описывает сезонно–погодные условия, отличные от F2: если F2 характеризует температурно–покрытийный эффект, то F4 отражает календарно–погодный фактор. Пятый фактор (F5, 5,8 %) объединяет полосу ДТП ($\lambda = 0{,}55$) и режим движения ($\lambda = 0{,}65$) и характеризует локацию происшествия и условия движения в момент ДТП. Шестой фактор (F6, 2,7 %) является остаточным и не имеет чёткой интерпретации.

Сопоставление результатов факторного и корреляционного анализа показывает высокую согласованность: все 11 значимых парных корреляций ($|r| \geq 0{,}3$) получили подтверждение в факторной структуре. Группы переменных, выделенные «на глаз» по коэффициентам корреляции, точно совпали с составом факторов F1–F3. Это подтверждает корректность выбранной методологии.

Таким образом, на основании проведённого факторного анализа из 20 исходных признаков выделено 6 латентных факторов, объясняющих 47,5 % общей дисперсии. Наиболее значимый фактор – «геометрия проезжей части» (15,2 %). Результаты факторного анализа полностью согласуются с данными корреляционного анализа: все значимые парные связи нашли отражение в факторной структуре. Число погибших и количество транспортных средств не вошли ни в один фактор, что указывает на необходимость включения дополнительных переменных (скорость, тип ТС, возраст пешехода) для прогнозирования тяжести ДТП. Выделенные факторы целесообразно использовать в качестве предикторов в регрессионных моделях вместо 20 исходных признаков, что снизит размерность модели и повысит её устойчивость. Фактор «обустройство придорожного пространства» (F3) отражает разделение городской и загородной среды, что следует учитывать при разработке дифференцированных мероприятий по безопасности пешеходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильина, И.Е. К вопросу о классификационных признаках дорожно–транспортных происшествий с участием пешехода / И.Е. Ильина, К.А. Перекусихина, В.Г. Киреев // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XX Междунар. науч.–практ. конф. – Оренбург, 2025. – С. 163–169.

2. Печатнова Е.В., Новиков И.А., Нечаев К.С., Иванов И.П. Влияние отдельных метеорологических параметров на риск возникновения наезда на пешехода // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. № 6. С. 53–59. DOI: 10.36535/0236–1914–2024–06–8 EDN: DFZCZS

3. Ильина И.Е Анализ распределения ДТП с участием пешеходов по фактору «температура воздуха» / И.Е. Ильина, К.А. Перекусихина Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 3–1 (90). С. 52–57.

4. Печатнова Е.В., Новиков И.А., Кирюшин И.И., Шаталов Е.В. Влияние периода суток на риск возникновения наезда на пешехода // Воронежский научно–технический вестник. Том 3 № 3, 2023. https://doi.org/10.34220/2311–8873–2023–3–3–60–66

5. Лопарев Е. А., Сергунова А. С. Влияние внешних факторов на уровень дорожно–транспортных происшествий, связанных с наездами на пешеходов // Безопасность дорожного движения. 2022. № 1. С. 28–34 URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie–vneshnih–faktorov–na–uroven–dorozhno–transportnyh–proisshestviy–svyazannyh–s–naezdami–na–peshehodov (дата обращения: 11.06.2025).

6. Ильина И.Е., Витвицкий Е.Е., Перекусихина К.А., Рассоха В.И. Определение потенциальных мест концентрации ДТП по причине нарушения ПДД водителями с учетом

человеческого фактора // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2025. № 2. С. 64–74. DOI: 10.25198/2077–7175–2025–2–64 EDN: LSCTNM

7. Ильина И.Е., Витвицкий Е.Е. Индексы для оценки уровня безопасности дорожного движения в регионах // Вестник Сибирского государственного автомобильно–дорожного университета. 2025. Т. 22. № 1 (101). С. 68–77. DOI: 10.26518/2071–7296–2025–22–1–68–77 EDN: XVCDWQ

8. Ильина И. Е., Перекусихина К. А., Рассоха В. И. Анализ факторов ДТП с участием пешеходов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 5. – С. 63–74. – https://doi.org/10.25198/2077–7175– 2025–5–63.

REFERENCES

1. Ilina I.E., Perikusihina K.A., Kireev V.G. On the classification features of road traffic accidents involving pedestrians. In: Progressive Technologies in Transport Systems: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference. Orenburg, 2025, pp. 163–169. (In Russian)

2. Pechatnova E.V., Novikov I.A., Nechaev K.S., Ivanov I.P. The influence of certain meteorological parameters on the risk of hitting a pedestrian // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. 2024. No. 6. PP. 53–59. DOI: 10.36535/0236–1914–2024–06–8 EDN: DFZCZS

3. Ilina I.E. Analysis of the distribution of accidents involving pedestrians by the factor "air temperature" / I.E. Ilina, K.A. Perekusikhina World of transport and technological machines. 2025. № 3–1 (90). pp. 52–57.

4. Pechatnova E.V., Novikov I.A., Kiryushin I.I., Shatalov E.V. The influence of the period of day on the risk of hitting a pedestrian // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. Volume 3, No. 3, 2023. https://doi.org/10.34220/2311–8873–2023–3–3–60–66

5. Loparev E. A., Sergunova A. S. The influence of external factors on the level of traffic accidents related to pedestrian collisions. 2022. No. 1. pp. 28–34. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie–vneshnih–faktorov–na–uroven–dorozhno–transportnyh–proisshestviy–svyazannyh–s–naezdami–na–peshehodov.

6. Ilina I.E., Vitvitsky E.E., Perekusikhina K.A., Rassokha V.I. Identification of potential accident concentrations due to traffic violations by drivers, taking into account the human factor // Intelligence. Innovation. Investment. 2025. No. 2. pp. 64–74. DOI: 10.25198/2077–7175–2025–2–64 EDN: LSCTNM

7. Ilina I.E., Vitvitsky E.E. Indexes for assessing the level of road safety in the regions // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. 2025. Vol. 22. No. 1 (101). pp. 68–77. DOI: 10.26518/2071–7296–2025–22–1–68–77 EDN: XVCDWQ

8. Ilina I. E., Perekusikhina K. A., Rassokha V. I. Analysis of the factors of accidents involving pedestrians // Intelligence. Innovation. Investment. – 2025. – No. 5. – pp. 63–74. – https://doi.org/10.25198/2077–7175 – 2025–5–63.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_113-117
УДК 656.057

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Е.И. Лежнева[1], В.А. Лежнева[2]
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия, legnevaelena@gmail.com
[2]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия, legnevavitalina@gmail.com

Аннотация. Исследуется проблема безопасности дорожного движения в Белгороде при нестабильном энергоснабжении. Предложен автономный световой комплекс для зон ожидания пешеходов на базе фотоэлектрических панелей и датчиков. Испытания подтвердили эффективность системы. Технология минимизирует риски ДТП в условиях плохой видимости и обеспечивает высокий социально–экономический эффект.

Ключевые слова: безопасность, автономное освещение, энергонезависимые системы, пешеходный переход, датчики.

IMPROVING ROAD SAFETY IN UNSTABLE POWER SUPPLY CONDITIONS

E.I. Lezhneva[1], V.A. Lezhneva[2]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, legnevaelena@gmail.com
[2]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, legnevavitalina@gmail.com

Abstract. The problem of road safety in Belgorod in the conditions of unstable power supply is investigated. An autonomous light complex for pedestrian waiting areas based on photovoltaic panels and sensors is proposed. Tests have confirmed the system's effectiveness. The technology minimizes the risks of traffic accidents in conditions of poor visibility and provides a high socio–economic effect.

Keywords: security, autonomous lighting, energy–independent systems, pedestrian crossings, sensors.

Поддержание высокого уровня дорожно–транспортной безопасности (БДД) выступает стержневым вектором в современном градостроительстве. Тем не менее, в специфических условиях приграничной агломерации, к которой относится Белгород, достижение этой цели сопряжено с экстраординарными вызовами. В актуальный период муниципальная инфраструктура функционирует в режиме повышенного износа, спровоцированного нестабильностью единой энергосистемы и участившимися случаями системных сбоев (блэкаутов), возникающих вследствие деструктивного воздействия на энергетические узлы.

В фазы деградации наружного освещения вероятность возникновения аварийных ситуаций с участием пешеходов увеличивается экспоненциально. Аналитические данные свидетельствуют: в условиях глубоких сумерек или полной темноты автомобилист способен идентифицировать человека на нерегулируемом переходе лишь на дистанции 25–40 метров. При соблюдении стандартного скоростного режима в черте города этого расстояния фатально недостаточно для осуществления экстренного торможения до полной остановки [1]. Проблема обостряется из–за того, что площадки сопряжения (зоны

© Лежнева Е. И., Лежнева В. А., 2026

накопления пешеходов перед «зеброй») остаются вне светового поля, превращая выход субъекта на проезжую часть в фактор внезапности для водителя. Максимальная концентрация рисков фиксируется в осенне–зимний сезон, характеризующийся минимальной инсоляцией и сложными метеоусловиями (изморозь, туман, гололед), которые дополнительно ограничивают обзорность и удлиняют тормозной путь. В моменты отключения электричества штатные светофоры и стационарные лампы на Г–образных опорах перестают функционировать, фактически превращая переходы в зоны бесконтрольной опасности.

Центральной задачей научно–исследовательского проекта является концептуальное моделирование и инженерное обоснование энергонезависимого комплекса иллюминации. Данная система предназначена для превентивной оптической индикации и визуального акцентирования пешеходов непосредственно в момент их нахождения в предпереходном пространстве (в фазе ожидания), обеспечивая их раннее обнаружение водителями независимо от состояния централизованных сетей.

В условиях осложненной оперативной обстановки на территории агломерации широко практикуется внедрение графиков веерного функционирования систем наружного освещения. За осенний квартал 2025 года зафиксирована негативная динамика дорожно–транспортного травматизма: количество инцидентов в условиях дефицита естественной инсоляции возросло на 39 %. Данная тенденция обусловлена дефицитом дисциплины со стороны всех субъектов транспортного процесса. Согласно отчетности, с начала текущего года задокументировано свыше 9,5 тыс. правонарушений, связанных с непредоставлением приоритета пешеходам со стороны автомобилистов; параллельно с этим более 14 тыс. граждан были привлечены к административной ответственности за пересечение проезжей части вне установленных зон [2].

Аналитические данные Госавтоинспекции за октябрь 2025 года указывают на 15 зарегистрированных происшествий, из которых 11 случаев классифицированы как наезды на пеших участников движения. В результате указанных ДТП травмы различной степени тяжести получили восемь человек, зафиксировано три летальных исхода [3]. В рамках ретроспективного анализа аналогичного периода прошлого года в Белгороде было выявлено лишь три подобных инцидента. Примечательно, что в прилегающих пригородных районах, где стабильность световой среды была выше, существенных статистических девиаций не наблюдалось. Визуализация пространственного распределения дорожных инцидентов на муниципальной территории за 2025 год посредством интерактивного картографирования представлена на Рисунке 1.

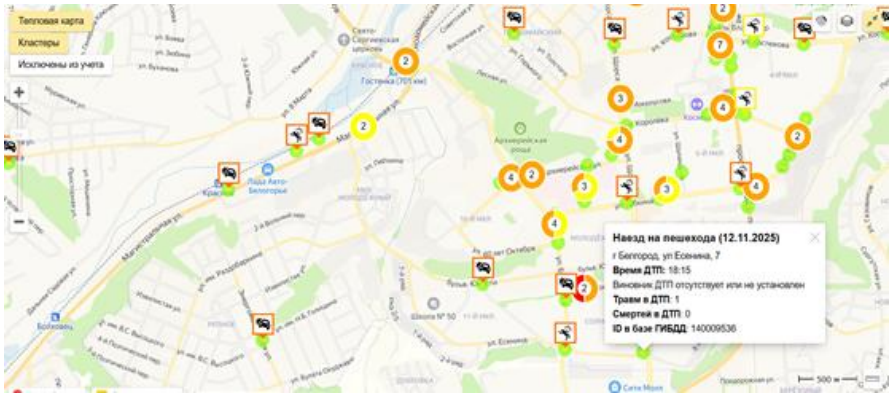


Рисунок 1 – Атрибутивные сведения и пространственная локализация дорожно–транспортного происшествия в границах пешеходного перехода в г. Белгород

Figure 1 – Attribute information and spatial localization of a traffic accident within a pedestrian crossing in Belgorod

В актуальной инженерной практике применяется широкий спектр технологических подходов, нацеленных на организацию искусственной инсоляции зон пешеходного перехода и прилегающих площадок ожидания [4]. Каждое из данных решений характеризуется специфическим набором функциональных достоинств и эксплуатационных ограничений, которые становятся критически значимыми в условиях текущей деградации энергетической надежности городской инфраструктуры и необходимости четкого визуального зонирования потенциально опасных сегментов дорожной сети. Особую актуальность вопрос дефицита светового потока приобретает в границах жилого массива «Харьковская гора», а также в районах индивидуальной малоэтажной застройки, где существующие системы освещения не обеспечивают требуемый уровень безопасности. Анализ существующих решений по освещению пешеходных переходов и зон ожидания, позволил выявить ряд недостатков (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Сравнительная оценка технических решений повышения безопасности дорожного движения на пешеходных переходах

Figure 2 – Comparative assessment of technical solutions for improving road safety at pedestrian crossings

В условиях сумеречного освещения и деградации обзорности водители транспортных средств зачастую не способны осуществить своевременную детекцию субъектов движения, находящихся вне зоны активной иллюминации. Для нивелирования данной проблемы предлагается внедрение существующего программно–аппаратного комплекса автономной световой индикации. Архитектура системы базируется на использовании полупроводниковых светоизлучающих элементов и блоков фотоэлектрической генерации, что гарантирует бесперебойное функционирование устройства даже при полной дестабилизации централизованного энергоснабжения. Алгоритм управления световым потоком реализуется посредством сенсорных датчиков присутствия, инициирующих световую демаркацию непосредственно при позиционировании человека в зоне обнаружения перед выходом на переход (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Пример автономного осветительного модуля

Figure 3 – Example of stand–alone lighting module

Практическая апробация и эмпирическое исследование эффективности автономного осветительного комплекса проводились в натурных условиях. Данный этап был направлен на верификацию работоспособности спроектированной интеллектуальной системы и анализ её влияния на пространственно–световую архитектуру дорожного ландшафта в условиях сумерек и ночного времени. Полевые испытания осуществлялись на нерегулируемом пешеходном переходе, характеризующемся отсутствием магистральных источников света и предельно низким уровнем фоновой освещенности (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Вариант пространственного размещения модуля энергонезависимой подсветки зоны ожидания

Figure 4 – Option for spatial placement of the energy–independent waiting area lighting module

Цикл натурных испытаний верифицировал высокий уровень энергетической самодостаточности разработанного комплекса. Установлено, что объема энергии, аккумулированного в период дневной инсоляции, достаточно для поддержания непрерывной работоспособности модуля по адаптивному алгоритму в течение всего ночного интервала.

В периоды нарушения стабильности централизованного энергоснабжения стратегическая значимость децентрализованных решений возрастает: снижение интенсивности аварийности в условиях дефицита освещенности способствует декомпрессии нагрузки на подразделения экстренной медицинской помощи и наряды Госавтоинспекции. Для Белгорода подобная оптимизация ресурсов оперативных служб выступает критическим фактором поддержания устойчивого функционирования городской среды в фазы пиковой эксплуатационной нагрузки на силовые и медицинские ведомства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свалова, К. В. Повышение безопасности пешеходных переходов на основе оценки степени их освещенности в Центральном районе г. Чита / К. В. Свалова // Транспортные сооружения. – 2023. – Т. 10, № 3. – DOI 10.15862/09SATS323. – EDN YOGTSL.

2. Безформата. URL: https://belgorod.bezformata.com/listnews/peshehodov–pogibli/ (дата обращения:28.03.2026).

3. Daily storm. URL: https://dailystorm.ru/detali/ (дата обращения 28.03.2026).

4. Новиков, А. Н. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движния / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, А. Г. Шевцова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 108 с. – ISBN 978–5–361–00908–4. – EDN VACGFY.

REFERENCES

1. Svalova, K. V. Improving the safety of pedestrian crossings based on assessing their illumination in the Central district of Chita / K. V. Svalova // Transport structures. – 2023. – Vol. 10, No. 3. – DOI 10.15862/09SATS323. – EDN YOGTSL.

2. Bezformata. URL: https://belgorod.ru/news/bezformata/bezformata.com/listnews/peshehodov–pogibli/ (accessed on 28.03.2026).

3. Daily storm. URL: https://dailystorm.ru/detali/ (accessed on 28.03.2026).

4. Novikov, A. N. Modern Assessment of the Problem of Road Safety / A. N. Novikov, I. A. Novikov, and A. G. Shevtsova. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2021. – 108 p. – ISBN 978–5–361–00908–4. – EDN VACGFY.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_118-121
УДК 342.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ КИБЕРАТАК НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ДОРОГ

Т.А. Муниров[1], А.С. Лукьянов[2], А.А. Демёхин[3]
[1] Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, munirovtemur98@gmail.com
[2] Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, las92@yandex.ru
[3] Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, mail–demehinaa@yandex.ru

Аннотация. В данном материале рассматривается проблема обеспечения кибербезопасности адаптивных интеллектуальных транспортных систем (ИТС), а также предложена математическая оценка масштаба заторов и прогнозирования времени наступления сетевого паралича. Полученные результаты формируют теоретическую основу для дальнейшего, перспективного противодействия вторжениям, кибератакам, что повышает живучесть городской инфраструктуры.

Ключевые слова. Интеллектуальные транспортные системы, кибербезопасность ИТС, адаптивное управление, каскадный эффект, АСУДД.

MODELING CYBERATTACK SCENARIOS AGAINST AUTOMATED TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON ROAD CAPACITY

T.A. Munirov[1], A.S. Lukyanov[2], A.A. Demyokhin[3]
[1] Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russia, munirovtemur98@gmail.com
[2] Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russia, las92@yandex.ru
[3] Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russia, mail–demehinaa@yandex.ru

Abstract. This material examines the problem of ensuring the cybersecurity of adaptive intelligent transport systems (ITS) and also proposes a mathematical assessment of the scale of congestion and the prediction of the time when network paralysis will occur. The results obtained form the theoretical basis for further, promising countermeasures against intrusions and cyberattacks, and significantly enhance the resilience of urban infrastructure.

Keywords. Intelligent transport systems, ITS cybersecurity, adaptive control, cascade effect, ADMS.

В настоящее время существующие исследования зачастую оценивают угрозы кибератак исключительно с точки зрения ИТ (CVSS, доступность каналов), и совсем не учитывают физику транспортного потока на дорогах (задержки, заторы, каскадный коллапс). Современная транспортная и городская инфраструктура стремительно эволюционирует в сторону концепции “Smart city” (Умного города), в котором одним из ключевых элементов являются современные автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД) и интеллектуальные транспортные системы. Также актуальность данной темы обусловлена тем, что большинство классических IT – специалистов не понимают физику трафика на дорогах, а специалисты, отвечающие за движение на дорогах

© Муниров Т. А., Лукьянов А. С., Демёхин А. А., 2026

и трафик, не знают, как работают кибератаки и не уделяют должного внимания обеспечению информационной и компьютерной безопасности. Рассмотрим данное направление на преодоления этого барьера, путём совместного моделирования ИТ–сценариев атак и макроскопических транспортных последствий. [1]

Обеспечение компьютерной безопасности интеллектуальных транспортных систем и проблема перехода к адаптивным ИТС (SCATS, SCOOT) является актуальным направлением, т.к. увеличивается потенциальная «поверхность атаки». Наличие различных уязвимостей, например, интеграция сетевых протоколов, использование беспроводных каналов связи, IoT датчиков и облачных сервисов делает ИТС критической целью для злоумышленников.

Архитектуру современной адаптивной информационной транспортной системы можно представить в виде трёхуровневой структуры, представленной на рисунке 1, где нижний (периферийный) уровень представляет собой дорожные контроллеры, радары, умные светофоры. Средний (сетевой) уровень представляет шлюзы передачи данных, проводные и беспроводные каналы связи. Верхний (диспетчерский) уровень является центральным сервером АСУДД, автоматизированные рабочие места операторов и т.д. У всех трёх уровней есть определённые уязвимости.

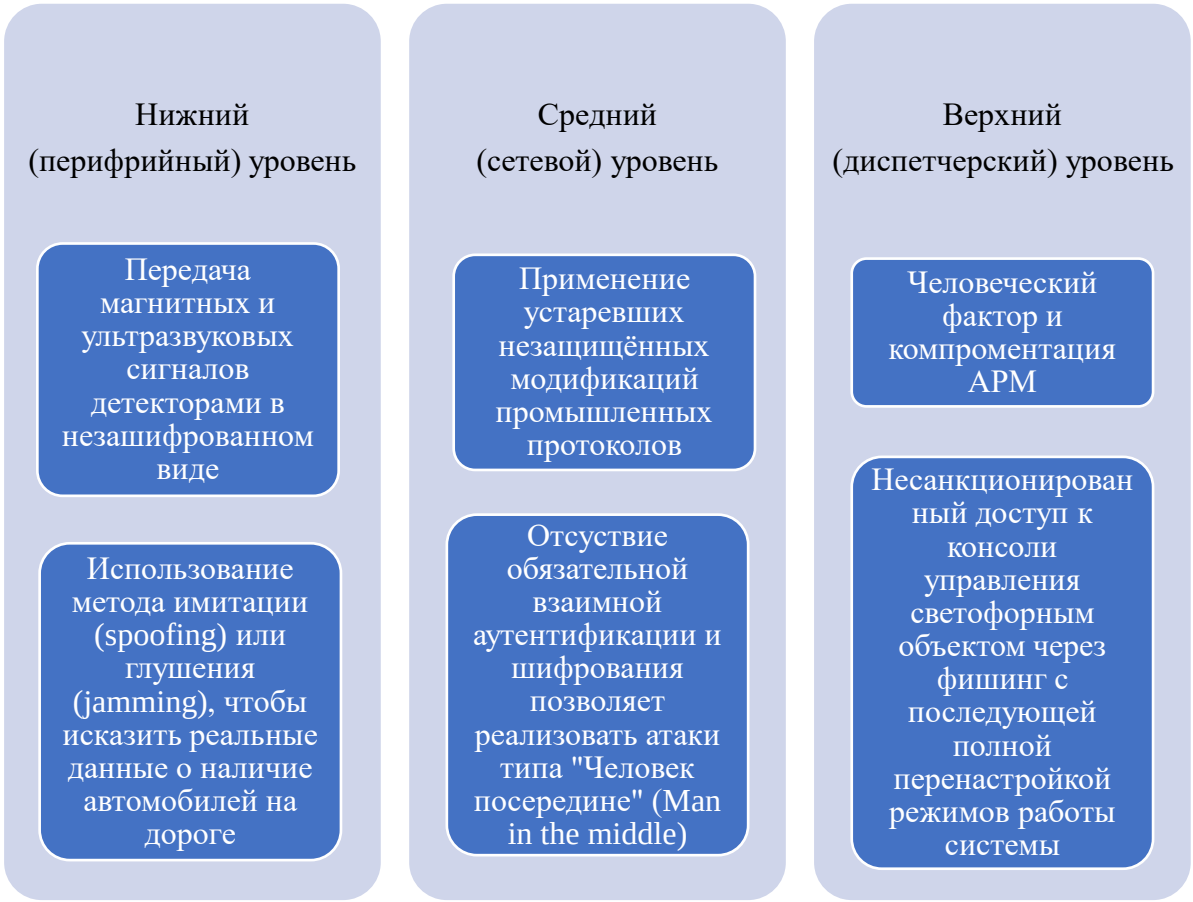


Рисунок 1 – Потенциальные уязвимости ИТС
Figure 1 – Potential vulnerabilities of ITS

Смоделируем несколько вариантов реализации кибератак:

Сценарий *«Тотальный красный»* (Denial of service – DoS) направленная на отказ в обслуживании локальных контроллеров или центрального сервера. В результате компрометации протокола связи светофоры принудительно переводятся в режим работы

«кругом красный» или в режим жёлтого мигания. Целью данной атаки является полная и мгновенная остановка движения на ключевом транспортном узле. [2]

«Ложные детекции» (Data injection / Spoofing). Злоумышленник внедряет ложные данные в каналы связи между детекторами транспорта и адаптивной системой. Система получает информацию о том, что на второстепенном образовалась критическая очередь автомобилей, которой на самом деле нет. В результате мы получаем ситуацию, в которой алгоритм адаптивного управления максимизирует фазу зелёного света для пустых улиц, тем самым заблокировав движение по главным магистралям.

«Рассинхронизация». Злоумышленник нарушает работу функции координации светофорных объектов, искусственно сдвигает временное смещение фаз между соседними перекрёстками, разрушая непрерывное движение плотного потока, вынуждая каждую группу машин останавливаться на каждом светофоре. [3]

Наиболее опасным следствием точечной кибератаки является *каскадный эффект* представленного на рисунке 2. Если затор на атакованном перекрёстке разрастается, хвост очереди блокирует предыдущий перекрёсток. То есть, автомобили, движущиеся в перпендикулярных направлениях через второй перекрёсток, больше не могут въехать на заблокированный участок. Движение останавливается на улицах, которые вообще не подвергались атаке напрямую.

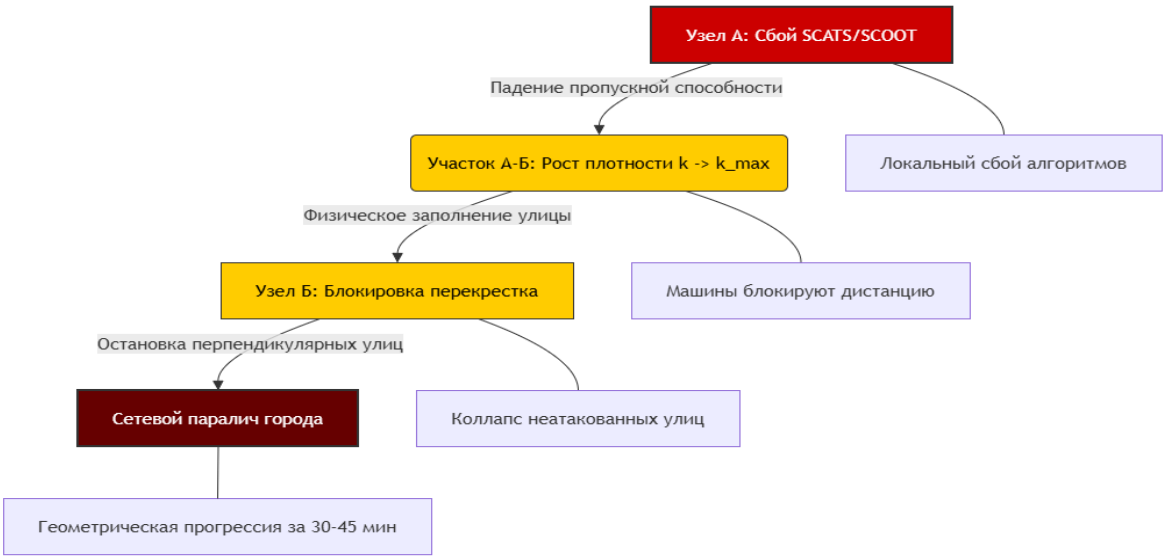


Рисунок 2 – Пример каскадного эффекта
Figure 2 – Example of a cascade effect

На данной схеме видно, что в результате локального сбоя алгоритмов и роста плотности k => k_max, машины физически заполняют дорогу и улицы образуя сетевой паралич дороги и коллапс не атакованных перекрёстков. [4]

Математически можно оценить последствия ИТ–инцидентов, обратившись к фундаментальной модели гидродинамической теории транспортных потоков. В качестве основы возьмём классическую модель Лайтхилла–Уизема–Ричардса (LWR):

Поток машин описывается уравнением непрерывности, аналогичным гидродинамическому:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

где p(x, t) – плотность потока, а q(x, t) – интенсивность движения.

Так как сумма этих производных равна нулю, отсюда следует что объекты потока (дорожного движения) никуда не исчезают и не появляются из ниоткуда на интересующем нас участке. Если в какой, то точке x интенсивность потока падает $(\frac{\partial q}{\partial x} < 0)$, то плотность объектов в этой точке начинает расти со временем $\left(\frac{\partial p}{\partial t} > 0\right)$, образуя затор. Для того, чтобы решить это уравнение в модели LWR введём функциональную зависимость интенсивности от плотности: $q = p * v(p)$, где $v(p)$ – скорость потока, которая падает с ростом плотности.

Отсюда можно сделать вывод, что, используя модель LWR мы можем рассчитать, через какое время плотность автомобилей и критичность затора достигнет своего максимума. Применение данного уравнения непрерывности модели LWR позволяет прогнозировать параметры времени затора [5].

В результате моделирования различных сценариев атак и транспортных последствий имеется возможность заложить основу для принципиально новых систем и способов обнаружения вторжений в критическую инфраструктуру городов. Внедрение предложенных подходов к кросс–верификации данных и изоляции сбоев позволит существенно повысить живучесть систем АСУДД и обеспечить безопасность городской среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жайворонок Д. А. Повышение безопасности движения транспортных средств индивидуальной мобильности и возможные пути их решения / Д. А. Жайворонок, Э. Н. Бусарин, Р. А. Кораблев, С. Э. Бусарина, С. В. Внукова, Р. А. Сподарев // Будущее науки: инновации и междисциплинарные исследования. Национальная научно–практическая конференция. – Воронеж, 2025. – С. 44–47.

2. Бабаш А. В. Информационная безопасность: лабораторный практикум / А. В. Бабаш, Е. К. Баранова, Ю. Н. Мельников. – М.: КноРус, 2019. – 112 с.

3. Актуальные киберугрозы: I квартал 2022 года // Positive Technologies. – URL: https://ptsecurity.com/research/analytics/cybersecurity–threatscape–2022–q1.

4. Важник Ю. П. Энтропия дорожного движения и учёт аварийности для оценки устойчивости пассажирского транспорта мегаполиса / Ю. П. Важник, Д. В. Капский // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XIII международной научно–практической конференции посвященной Году качества – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2024 – С. 51–52.

5. Сухинова А. Б. Двумерная макроскопическая модель транспортных потоков / А. Б. Сухинова, М. А. Трапезникова, Б. Н. Четверушкин // Математическое моделирование. 2009. – 21(2). – С. 118–126.

REFERENCES

1. Zhayvoronok D. A. Improving the safety of individual mobility vehicles and possible ways to address them / D. A. Zhayvoronok, E. N. Busarin, R. A. Korablev, S. E. Busarina, S. V. Vnukov, R. A. Spodarev // The Future of Science: Innovations and Interdisciplinary Research. National Scientific and Practical Conference. – Voronezh, 2025. – Pp. 44–47.

2. Babash A. V. Information Security: Laboratory Workshop / A. V. Babash, E. K. Baranova, Yu. N. Melnikov. – Moscow: KnoRus, 2019. – 112 p.

3. Current cyber threats: Q1 2022 // Positive Technologies. – URL: https://ptsecurity.com/research/analytics/cybersecurity–threatscape–2022–q1.

4. Vazhnik Yu. P. Entropy of traffic and accident accounting for assessing the sustainability of passenger transport in a megalopolis / Yu. P. Vazhnik, D. V. Kapsky // Problems of transport safety: proceedings of the XIII International Scientific and practical conference dedicated to the Year of Quality – Gomel: Belarusian State University of Transport, 2024 – pp. 51–52.

5. Sukhinova A. B. Two–dimensional macroscopic model of transport flows / A. B. Sukhinova, M. A. Trapeznikova, B. N. Chetverushkin // Mathematical modeling. 2009 – 21(2) – pp. 118–126.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_122-127
УДК 623.62

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИДРОН-СИСТЕМ И СРЕДСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫМ УСТРОЙСТВАМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СОТРУДНИКОВ ДПС

Г.М. Пайков[1], А.Н. Лукьянова[2]
[1]Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, las92@yandex.ru
[2]Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, annaburavcova@yandex.ru

Аннотация. Сотрудники дорожно–патрульной службы, осуществляя надзор за дорожным движением на автомобильных дорогах, особенно в приграничных и промышленных регионах, нередко оказываются первыми, кто сталкивается с угрозой со стороны беспилотных аппаратов. Автомобильные дороги, мосты, тоннели и развязки – объекты транспортной инфраструктуры с требованиями антитеррористической защищённости, поэтому противодействие БПЛА со взрывными устройствами актуально, но задача решается комплексно, не только силами ДПС.

Ключевые слова: Госавтоинспекция, радиоэлектронное противодействие, дорожно–транспортное происшествие, радиоэлектронное противодействие, обнаружение БПЛА, антидрон–системы.

APPLICATION OF ANTI‑DRONE SYSTEMS AND ELECTRONIC COUNTERMEASURES AGAINST EXPLOSIVE DEVICES TO ENSURE THE SAFETY OF TRAFFIC POLICE OFFICERS

G.M. Paikov[1], A.N. Lukyanova[2]
[1]Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russia, las92@yandex.ru
[2]Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Voronezh, Russia, annaburavcova@yandex.ru

Abstract. Traffic police officers, while supervising road traffic on highways – especially in border and industrial regions – are often the first to encounter threats posed by unmanned aerial vehicles. Highways, bridges, tunnels, and interchanges are transport infrastructure objects subject to anti‑terrorist protection requirements; therefore, countering UAVs equipped with explosive devices is a relevant task, but it requires a comprehensive approach and is not solely the responsibility of the traffic police.

Keywords: State Traffic Safety Inspectorate (GIBDD), radio‑electronic countermeasures, road traffic accident (RTA) / traffic accident, radio‑electronic countermeasures, UAV detection (drone detection), anti‑drone systems.

Сотрудники дорожно–патрульной службы, осуществляя надзор за дорожным движением на автомобильных дорогах, особенно в приграничных и промышленных регионах, нередко оказываются первыми, кто сталкивается с угрозой со стороны беспилотных аппаратов. Автомобильные дороги, мосты, тоннели и транспортные развязки относятся к объектам транспортной инфраструктуры, в отношении которых установлены требования к антитеррористической защищённости [1]. Это делает задачу противодействия беспилотным аппаратам, оснащённым взрывными устройствами, непосредственно актуальной для подразделений ДПС. Динамика применения беспилотных летательных аппа-

© Пайков Г. М., Лукьянова А. Н., 2026

ратов (БПЛА) в противоправных целях в 2024–2026 годах демонстрирует экспоненциальный рост. По данным Минобороны РФ, только за семь месяцев 2026 года над 52 регионами России было перехвачено и уничтожено более 54 тыс. БПЛА, в среднем около 7 тыс. в месяц.

В международной практике устоялся термин C–UAS (Counter–Unmanned Aircraft Systems) – для обозначения всего спектра инструментов и систем противодействия беспилотным аппаратам, включающий обнаружение, идентификацию, сопровождение и нейтрализацию. В практическом контексте используются также варианты написания «counter–UAV», «counter–drone» и «anti–drone» – все они относятся к одной предметной области. Ключевым понятием выступает совокупность процессов обнаружения, локализации, сопровождения, классификации и идентификации беспилотного аппарата. В отечественной нормативной базе фундаментальное значение имеет ГОСТ Р 71564.1–2025 «Специальные технические средства обнаружения и противодействия беспилотным аппаратам. Термины и определения. Классификация», введённый в действие приказом Росстандарта от 25.07.2025 № 794–ст. Стандарт устанавливает систему понятий для всех сред применения – воздушной, подводной, надводной и наземной. Применение активных средств противодействия (РЭБ, огневое поражение) затрагивает отдельные правовые режимы и осуществляется уполномоченными субъектами, а не по усмотрению персонала объекта. Полномочия сотрудников полиции по пресечению функционирования беспилотных аппаратов и применению специальных средств подавления сигналов закреплены в ст. 13 (п. 40 ч. 2), ст. 21 (п. 12 ч. 1, п. 15 ч. 2), ст. 23 (п. 5 ч. 3) Федерального закона от 07.02.2011 № 3–ФЗ «О полиции». Сотрудники ДПС входят в число должностных лиц полиции, наделённых полномочиями по пресечению функционирования беспилотных аппаратов. В 2026 году в Перечень должностных лиц, уполномоченных на принятие решения о пресечении функционирования беспилотных аппаратов, были включены сотрудники подразделений применения и эксплуатации беспилотных аппаратов – профильные специалисты, которые лучше всего могут оценить угрозу с воздуха и технические возможности для её нейтрализации. Для сотрудников ДПС это означает, что они действуют в рамках полномочий полиции, а технические средства подавления применяются по решению уполномоченного должностного лица.

Процедурный порядок реализации этих полномочий утверждён приказом МВД России от 16.11.2023 № 865, который установил Порядок принятия решения о пресечении функционирования беспилотных воздушных, подводных и надводных судов и аппаратов и Перечень должностных лиц полиции, уполномоченных на принятие такого решения. Согласно данному Порядку, решение принимается уполномоченным должностным лицом исходя из имеющейся информации о характере и степени опасности действий, угрожающих жизни, здоровью и имуществу граждан. При этом должностное лицо обязано оценить возможные риски от результатов пресечения функционирования аппарата. В случаях, не терпящих отлагательства, решение может быть принято должностным лицом, указанным в пункте 10 Перечня, с последующим докладом непосредственному руководителю [2].

Согласно ГОСТ Р 71564.1–2025, специальное техническое средство противодействия (СТСП) – представляет собой инженерное, техническое либо программно–аппаратное изделие или систему (в стационарном либо мобильном исполнении), предназначенное для обнаружения, идентификации, отслеживания, защиты и противодействия беспилотным аппаратам. В структуре мобильных СТСП выделяют возимые (СТСП МВ), интегрируемые с транспортным средством, и носимые (СТСП МН), не зависящие от места размещения. Данные категории оптимально соответствуют оперативным задачам нарядов ДПС, поскольку допускают как монтаж на патрульном транспортном средстве,

так и ручное применение сотрудником, обеспечивая практическую реализуемость мер противодействия в рамках оперативно-служебной деятельности [3].

По данным Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ), средства радиоэлектронного подавления классифицируются по мощности: до 10 Вт – маломощные, от 10 до 50 Вт – средней мощности, более 50 Вт – большой мощности. Использование РЭП большой мощности разрешено только силовым структурам с обязательным согласованием с Минобороны и уведомлением Роскомнадзора. В практике подразделений применяются следующие типы средств радиоэлектронного подавления, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Средства радиоэлектронного подавления БПЛА
Table 1 – Systems for radio-electronic suppression of UAVs

Категория (по ГОСТ Р71564.1-2025	**Тип средства**	**Дальность подавления**	**Режим работы**	**Примеры / модели**	**Применение**
СТСП МН (носимые)	Антидроновые ружья	500–2000 м	Ручное, направленное	«Ступор», «Айрат 100», DJam	Личное применение сотрудником ДПС при патрулировании, оперативное реагирование на одиночные БПЛА
СТСП МВ (возимые)	Автомобильные комплексы РЭБ	до 3000+ м	Автоматический, круговое сканирование	«Репортаж-Авто», «Волчья стая-МВ»	Защита патрульного автомобиля и колонн, сопровождение и оцепление на маршрутах патрулирования
СТСП С (стационарные)	Купольные системы	до 5000+ м	Круглосуточный автоматический	«Купол-ПРО», «Партизан-С»	Защита стационарных постов ДПС, мостов, тоннелей, развязок - объектов транспортной инфраструктуры

Носимые антидроновые ружья – портативные устройства направленного действия, подавляющие каналы управления и навигации БПЛА. Они не наносят физического вреда аппарату, а принуждают его к посадке или возвращению в точку взлёта. Дальность эффективного подавления составляет от 500 до 2000 метров в зависимости от модели. Антидроновые ружья относятся к СТСП МН (мобильные носимые) и, как правило, классифицируются по третьему–четвёртому классу ГОСТ Р 71564.1–2025. Например, подавитель дронов «Айрат 100», используемый подразделениями Росгвардии, обеспечивает эффективное подавление за счёт направленных антенн с углом луча 10 градусов при дальности до 1,5 км. Возимые автомобильные комплексы РЭБ – обеспечивают круговое прикрытие патрульного автомобиля и колонн, относятся к СТСП МВ. Могут работать в автоматическом режиме, непрерывно сканируя радиоэфир и автоматически активируя подавление при обнаружении сигналов управления БПЛА . Стационарные купольные системы – создают над объектом зону подавления в радиусе 1,5–3 км, блокируя частоты управления БПЛА. В деятельности ДПС могут применяться для защиты стационарных постов и контрольно-пропускных пунктов на участках дорог, относящихся к объектам транспортной инфраструктуры повышенной опасности.

На основе действующих методических рекомендаций МВД и Росгвардии [1] предлагается следующий типовой алгоритм действий наряда ДПС при обнаружении беспилотного аппарата с признаками взрывного устройства на рисунке 1. Применение огнестрельного оружия по БПЛА является крайней мерой. Сотрудник обязан оценить риск неконтролируемого падения аппарата и возможного наличия на нем взрывных устройств. При наличии у наряда ДПС возимого или носимого СТСП и при наличии решения уполномоченного должностного лица осуществляется радиоэлектронное подавление каналов управления и навигации беспилотного аппарата.

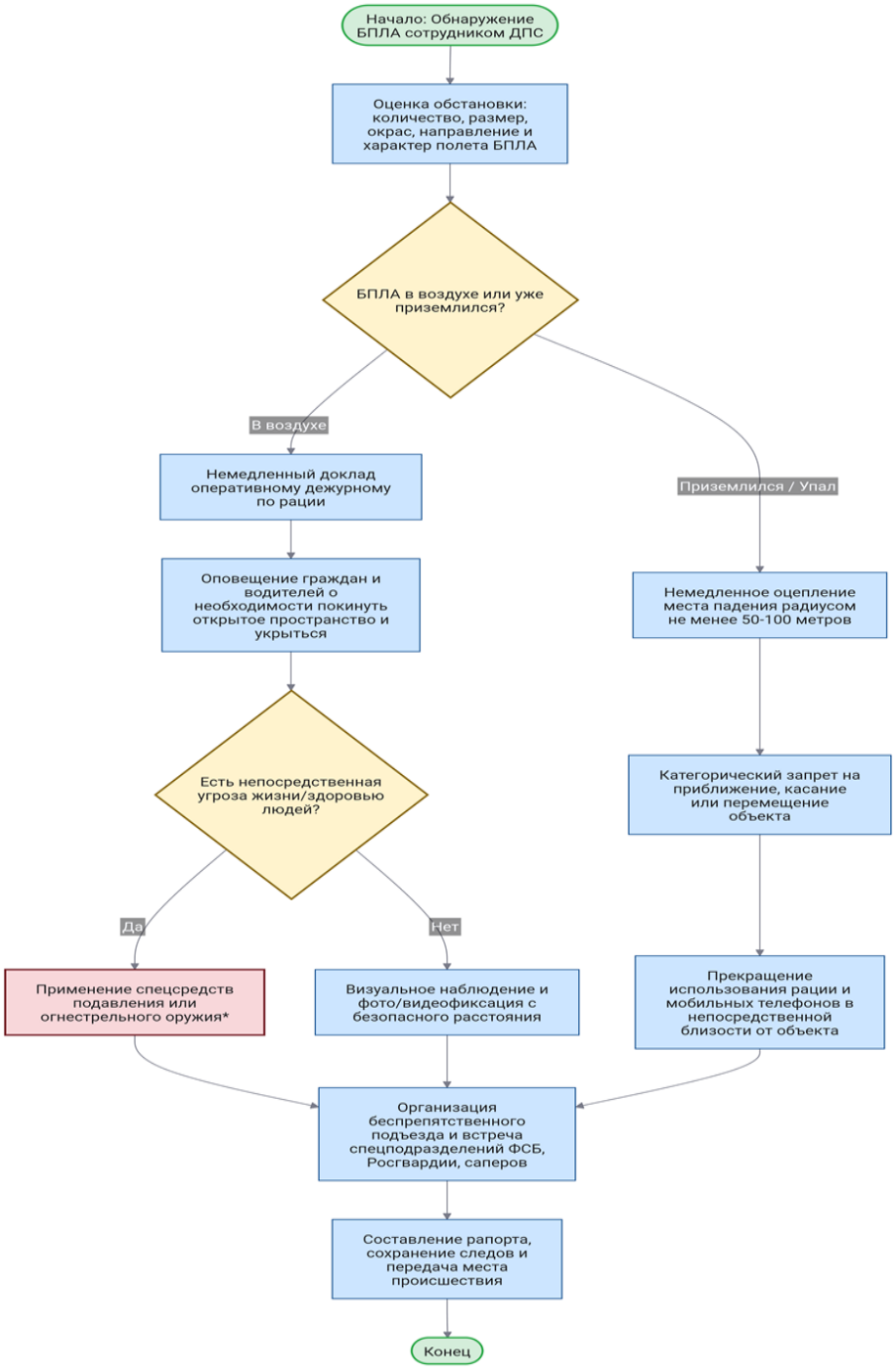


Рисунок 1 – Алгоритм действия наряда ДПС при обнаружении беспилотного аппарата
Figure 1 – Procedure for a DPS Patrol Unit in the Event of UAV Detection

Применение антидрон–систем против беспилотных аппаратов, оснащённых взрывными устройствами, имеет ряд существенных особенностей и ограничений. Подавление каналов управления не всегда приводит к безопасному исходу. Более эффективными являются средства мощной РЭБ, способные полностью подавить спутниковую навигацию и вызвать потерю ориентации [4]. При применении РЭБ против аппарата, несущего взрывное устройство, существует риск непредсказуемого поведения дрона после потери сигнала. Некоторые модели активируют режим «возврат домой», что может привести к падению аппарата на оживлённой автомобильной дороге или в зоне массового скопления людей. Согласно приказу МВД России от 16 ноября 2023 года № 865, уполномоченное должностное лицо обязано оценить возможные риски от результатов пресечения функционирования беспилотного аппарата. Помимо противодействия БПЛА, сотрудники ДПС могут быть оснащены блокираторами радиоуправляемых взрывных устройств – техническими средствами, создающими мощный помеховый сигнал в широком диапазоне частот для предотвращения дистанционного подрыва. Работа с антидроновым оборудованием требует специального обучения – оператор должен понимать пределы своих полномочий, порядок получения команды и возможные последствия радиоэлектронного воздействия. Применение антидрон–систем и средств РЭБ сотрудниками ДПС является законным и обоснованным инструментом противодействия беспилотным аппаратам, оснащённым взрывными устройствами. Правовая база, включающая ФЗ «О полиции», приказ МВД № 865 и ГОСТ Р 71564.1–2025, создаёт достаточные основания для применения данных средств. Необходимо внедрение программ специального обучения сотрудников ДПС по направлению «Противодействие БПЛА», включающих обучение работе с СТСП, оценку рисков применения РЭБ и алгоритм действий при обнаружении беспилотного аппарата с признаками взрывного устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ МВД России от 02.05.2023 № 264 «Об утверждении Порядка осуществления надзора за соблюдением участниками дорожного движения требований законодательства Российской Федерации о безопасности дорожного движения». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_451297/.

2. Российская Федерация. Законы. О полиции : Федеральный закон от 07.02.2011 № 3-ФЗ : [ред. от 15.12.2025] // Официальный интернет-портал правовой информации. – Москва. – URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102145133 (дата обращения: 11.11.2026).

3. Жайворонок Д.А. Анализ современных технологий систем связи, контроля и управления на автомобильном транспорте / Д.А. Жайворонок // Инновационные технологии на автомобильном транспорте. Всероссийская научно–практическая конференция. – Воронеж, 2024. – С. 18–21.

4. Лукьянов А.С. Выбор и особенности применения в транспортных комплексах навигационной аппаратуры потребителей / А.С. Лукьянов, А.С. Дерябин // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте. Материалы Международной молодежной научно–практической конференции. – Воронеж, 2024. – С. 14–18.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia dated 02.05.2023 No. 264 «On Approval of the Procedure for Supervising Compliance by Road Users with the Requirements of the Legislation of the Russian Federation on Road Safety». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_451297/.

2. Russian Federation. Laws. About the police : Federal Law No. 3-FZ dated 07.02.2011 : [ed. dated 12/15/2025] // The official Internet portal of legal information. – Moscow. – URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102145133 (date of request: 11.11.2026).

3. Zhayvoronok D.A. Analysis of modern technologies of communication, control and management systems in road transport / D.A. Zhayvoronok // Innovative technologies in road transport. All–Russian scientific and practical conference. – Voronezh, 2024. – P. 18–21.

4. Lukyanov A.S. Selection and application features of navigation equipment for consumers in transport complexes / A.S. Lukyanov, A.S. Deryabin // Prospects for development, innovations and information technologies in transport. Materials of the International Youth Scientific and Practical Conference. – Voronezh, 2024. – P. 14–18.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_128-132
УДК 656.13.08

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЭКСПЕРТНОГО ВЫВОДА О СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ С БОКОВЫМ СКОЛЬЖЕНИЕМ

И.А. Новиков[1], Д.А. Лазарев[1], В.Л. Махонин[1]
[1]Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,
Белгород, Россия, ooows@mail.ru, avtotech31@mail.ru, triumf.expert@bk.ru

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Лазарев, avtotech31@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена задача реконструкции дорожно–транспортного происшествия по следам бокового скольжения, в которой расчетная скорость определяется коэффициентом поперечного сцепления, принимаемым по справочному диапазону. Предложены показатель запаса устойчивости экспертного вывода и порядок выбора его формы, основанные на вычислении критического значения коэффициента сцепления. Показано, что при части сочетаний радиуса траектории и разрешенной скорости категорическая форма вывода не имеет технического обоснования.

Ключевые слова: автотехническая экспертиза, боковое скольжение, коэффициент поперечного сцепления, реконструкция дорожно–транспортного происшествия, неопределенность исходных данных, анализ чувствительности, форма экспертного вывода, безопасность дорожного движения.

ASSESSMENT OF THE ROBUSTNESS OF AN EXPERT CONCLUSION ON VEHICLE SPEED IN THE RECONSTRUCTION OF ROAD ACCIDENTS INVOLVING LATERAL SLIDING

I.A. Novikov[1], D.A. Lazarev[1], V.L. Makhonin[1]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia, ooows@mail.ru, avtotech31@mail.ru, triumf.expert@bk.ru

Abstract. The paper considers the reconstruction of a road accident from lateral sliding marks, where the calculated speed is governed by the lateral friction coefficient taken from a reference range. A robustness margin of the expert conclusion and a procedure for selecting its form are proposed, both based on computing the critical value of the friction coefficient. It is shown that for a range of combinations of path radius and speed limit the categorical form of the conclusion has no technical justification.

Keywords: forensic automotive examination, lateral sliding, lateral friction coefficient, road accident reconstruction, input data uncertainty, sensitivity analysis, form of expert conclusion, road safety.

Дорожно–транспортные происшествия, сопровождающиеся потерей поперечной устойчивости транспортного средства, образуют устойчивую долю происшествий с тяжелыми последствиями и относятся к числу наиболее сложных объектов экспертного исследования. Основным вопросом, разрешаемым при их исследовании, является вопрос о скорости движения транспортного средства перед началом бокового скольжения, поскольку именно ответ на него определяет вывод о соответствии действий водителя требованиям правил дорожного движения и о наличии причинной связи между этими действиями и наступившими последствиями [1, 2].

© Новиков И. А., Лазарев Д. А., Махонин В. Л., 2026

Расчет скорости при реконструкции таких происшествий выполняется по соотношениям, связывающим скорость с радиусом траектории и коэффициентом поперечного сцепления шин с покрытием. Значение коэффициента поперечного сцепления эксперту, как правило, не задается: он принимается по справочным источникам, где приводится в виде диапазона, отнесенного к типу и состоянию покрытия [3, 4]. Между тем поперечное сцепление не является характеристикой покрытия как такового – оно зависит от состояния покрытия, характеристик шины, угла увода и скорости скольжения, вследствие чего справочный диапазон описывает не величину, а класс условий.

Возникающее противоречие состоит в следующем. Вывод о скорости формулируется в категорической форме и приобретает доказательственное значение, тогда как исходная величина, его определяющая, выбирается экспертом внутри диапазона, ширина которого достигает двукратной. Ни одна из действующих методик не содержит средств, позволяющих установить, определен ли вывод исходными данными или он определен этим выбором. Настоящая работа предлагает такое средство для рассматриваемого класса задач.

Расчетные соотношения и критическое значение коэффициента сцепления. Скорость движения транспортного средства в момент начала бокового скольжения по траектории радиуса R при поперечном уклоне проезжей части i определяется из условия равновесия боковых сил:

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot \left(\varphi_y + i\right)}{\left(1 - i \cdot \varphi_y\right)}}, \qquad (1)$$

где v – скорость движения, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2; R – радиус траектории центра масс, м; φ_y – коэффициент поперечного сцепления; i – поперечный уклон проезжей части.

Вывод эксперта в рассматриваемых задачах, как правило, состоит не в самом значении скорости, а в его сопоставлении с разрешенной скоростью $v_д$. Это обстоятельство позволяет перейти от прямой задачи – оценки разброса вычисляемой величины – к обратной: определению того значения коэффициента сцепления, при котором вывод меняется на противоположный. Разрешая (1) относительно φ_y при $v = v_д$, получаем критическое значение:

$$\varphi_y^* = \frac{v_д^2 - g \cdot R \cdot i}{g \cdot R + v_д^2 \cdot i}, \qquad (2)$$

Величина φ_y^* разделяет область допустимых значений коэффициента сцепления на две части, отвечающие противоположным выводам. Если критическое значение лежит вне справочного диапазона [φ_{min}, φ_{max}], вывод не зависит от выбора эксперта и категорическая форма правомерна. Если оно лежит внутри диапазона, вывод определяется исключительно выбором значения и категорическая форма технического обоснования не имеет.

Мерой удаленности критического значения от границы диапазона служит запас устойчивости вывода:

$$K_y = \frac{\left|\varphi_y^* - \varphi_{гр}\right|}{\varphi_{\max} - \varphi_{\min}}, \qquad (3)$$

где $\varphi_{гр}$ – ближайшая к критическому значению граница справочного диапазона. При расположении критического значения внутри диапазона запас устойчивости принимается равным нулю.

Численный пример. Расчет выполнен для покрытия из асфальтобетона в сухом состоянии, для которого справочный диапазон коэффициента поперечного сцепления

принят равным 0,35…0,65, при поперечном уклоне 0,02 и разрешенной скорости 60 км/ч. Результаты для четырех значений радиуса траектории приведены в таблице 1, графическая интерпретация – на рисунке 1.

Таблица 1 – Устойчивость вывода о превышении разрешенной скорости
Table 1 – Robustness of the conclusion on exceeding the speed limit

R, м	v_{min}, км/ч	v_{max}, км/ч	φ_y^*	K_y	Форма вывода
40	43,5	58,8	0,678	0,09	категорическая: превышения не было
60	53,3	72,0	0,448	0	категорическая недопустима
80	61,6	83,1	0,332	0,06	категорическая: превышение имело место
100	68,8	92,9	0,262	0,29	категорическая: превышение имело место

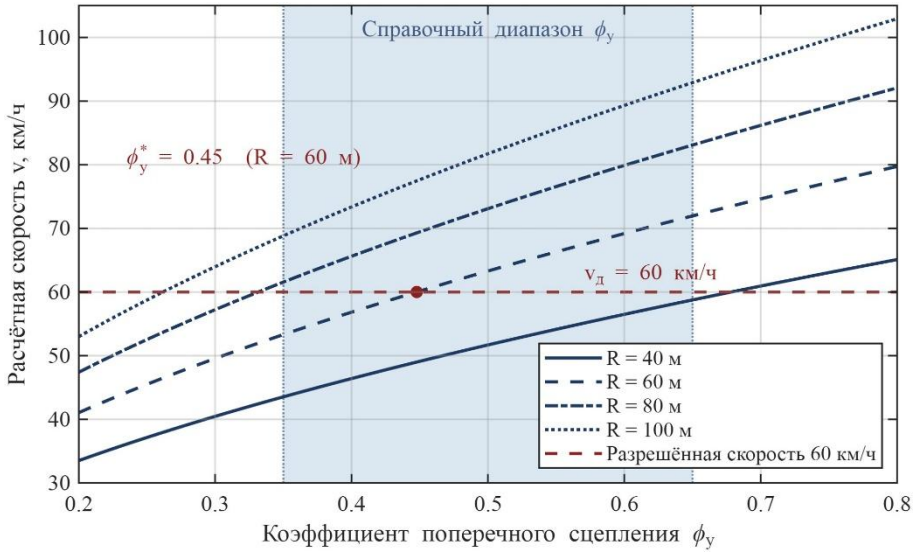


Рисунок 1 – Зависимость расчетной скорости от коэффициента поперечного сцепления при различных радиусах траектории
Figure 1 – Calculated speed versus lateral friction coefficient for different path radii

Результаты показывают, что при радиусе 60 м критическое значение коэффициента сцепления попадает внутрь справочного диапазона, вследствие чего вывод о превышении разрешенной скорости определяется не следовой обстановкой, а выбором значения: в пределах диапазона существуют значения, приводящие как к превышению, так и к его отсутствию. Условие попадания критического значения внутрь диапазона при принятых данных выполняется для радиусов траектории от 41,7 до 76,0 м, то есть для интервала, охватывающего значительную часть кривых малого радиуса на дорогах населенных пунктов.

Не менее существенно положение при радиусе 80 м. Формально вывод здесь категоричен, однако запас устойчивости составляет 0,06 – критическое значение отстоит от границы диапазона менее чем на шесть процентов его ширины. Такой вывод опрокидывается при незначительном уточнении состояния покрытия и по существу неустойчив,

хотя по действующим правилам формулируется в той же категорической форме, что и вывод при радиусе 100 м с запасом 0,29.

Порядок формирования вывода. Полученные соотношения позволяют предложить последовательность действий эксперта, не требующую изменения структуры заключения. По исходным данным вычисляется критическое значение коэффициента сцепления (2) и сопоставляется со справочным диапазоном. При расположении критического значения вне диапазона вычисляется запас устойчивости (3), и при его достаточной величине вывод формулируется в категорической форме с указанием запаса в исследовательской части. При расположении критического значения внутри диапазона либо при малом запасе устойчивости вывод формулируется в условной форме – раздельно для подобластей диапазона, – а в адрес органа, назначившего экспертизу, направляется ходатайство об уточнении состояния покрытия с указанием требуемой точности, определяемой из (2).

Последнее обстоятельство имеет самостоятельное практическое значение. Эксперт не вправе самостоятельно собирать исходные данные, вследствие чего дефект переданных ему сведений остается необнаруженным и переходит в вывод. Вычисление критического значения превращает общее указание на недостаточность данных в конкретное требование: устанавливается, какая именно величина определяет ответ и с какой точностью она должна быть установлена, чтобы вывод был защитим.

Пороговое значение запаса устойчивости, ниже которого категорическая форма вывода признается необоснованной, в настоящей работе не устанавливается: его обоснование требует обработки массива экспертных производств и составляет предмет дальнейшего исследования. Предварительно, по опыту производства экспертиз рассматриваемого вида, в качестве ориентира может быть принято значение порядка 0,15.

Выводы. Предложен подход к оценке устойчивости экспертного вывода о скорости движения при реконструкции происшествий с боковым скольжением, основанный на вычислении критического значения коэффициента поперечного сцепления и на сопоставлении его со справочным диапазоном. Введен показатель запаса устойчивости вывода, позволяющий различать выводы, определенные исходными данными, и выводы, определенные выбором значения внутри допустимых пределов. На численном примере показано, что для интервала радиусов траектории от 41,7 до 76,0 м при разрешенной скорости 60 км/ч категорическая форма вывода технического обоснования не имеет, а при радиусе 80 м формально категоричный вывод обладает запасом устойчивости менее шести процентов ширины диапазона. Подход не изменяет структуру экспертного заключения и не требует пересмотра действующих расчетных соотношений, вследствие чего допускает внедрение в существующую практику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илларионов В. А. Экспертиза дорожно–транспортных происшествий : учебник для вузов. – Москва : Транспорт, 1989. – 255 с.

2. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Расследование и экспертиза дорожно–транспортных происшествий. – Санкт–Петербург : ДНК, 2012. – 392 с.

3. Пучкин В. А. Основы экспертного анализа дорожно–транспортных происшествий: база данных, экспертная техника, методы решений. – Ростов–на–Дону : ИПО ПИ ЮФУ, 2010. – 400 с.

4. Суворов Ю. Б. Судебная дорожно–транспортная экспертиза. – Москва : Экзамен, 2003. – 208 с.

5. Новиков, А.Н. Исследование сложного перемещения транспортного средства при проведении дорожно–транспортной экспертизы / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, Д. А. Лазарев, В. Л. Махонин // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3–3(78). – С. 53–59. – DOI 10.33979/2073–7432–2022–3(78)–3–53–59. – EDN RUJXKA.

6. Новиков, И.А. Совершенствование дорожно–транспортной экспертизы на основе исследования процесса перемещения автомобиля в состоянии потери управляемости / И. А. Новиков, А. Н. Дегтярь, Д. А. Лазарев, В. Л. Махонин // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4–2(83). – С. 77–86. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–4–2(83)–77–86. – EDN GOCYIU.

7. ГОСТ 34100.3–2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 112 с.

8. Brach R. M., Brach R. M. Vehicle accident analysis and reconstruction methods. – 2nd ed. – Warrendale : SAE International, 2011. – 340 p.

9. A new approach to the study of complex vehicle movement during road transport expertise / I. Novikov, A. Degtyar, D. Lazarev [et al.] // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE–2022), Tashkent, Uzbekistan, 25–28 января 2023 года. Vol. 371. – Tashkent, Uzbekistan: EDP Sciences, 2023. – P. 04008. – DOI 10.1051/e3sconf/202337104008. – EDN RCKYGA.

10. Saltelli A., Ratto M., Andres T. Global sensitivity analysis: the primer. – Chichester : Wiley, 2008. – 292 p.

REFERENCES

1. Illarionov V. A. Examination of road traffic accidents: textbook for universities. – Moscow: Transport, 1989. – 255 p.

2. Evtyukov S. A., Vasilyev Ya. V. Investigation and examination of road traffic accidents. – St. Petersburg: DNK, 2012. – 392 p.

3. Puchkin V. A. Fundamentals of expert analysis of road traffic accidents: database, expert technique, solution methods. – Rostov–on–Don: IPO PI SFedU, 2010. – 400 p.

4. Suvorov Yu. B. Forensic road transport examination. – Moscow: Exam, 2003. – 208 p.

5. Novikov, A.N. Study of the complex movement of a vehicle during a road transport examination/A.N. Novikov, I.A. Novikov, D.A. Lazarev, V.L. Makhonin//World of transport and technological machines. – 2022. – № 3–3(78). – S. 53–59. – DOI 10.33979/2073–7432–2022–3(78)–3–53–59. – EDN RUJXKA.

6. Novikov, I.A. Improvement of road transport expertise based on the study of the process of moving a car in a state of loss of controllability/I.A. Novikov, A.N. Degtyar, D.A. Lazarev, V.L. Makhonin // World of transport and technological machines. – 2023. – № 4–2(83). – S. 77–86. – DOI 10.33979/2073–7432–2023–4–2(83)–77–86. – EDN GOCYIU.

7. GOST 34100.3–2017. Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. – Moscow: Standartinform, 2018. – 112 p.

8. Brach R. M., Brach R. M. Vehicle accident analysis and reconstruction methods. – 2nd ed. – Warrendale: SAE International, 2011. – 340 p.

9. A new approach to the study of complex vehicle movement during road transport expertise / I. Novikov, A. Degtyar, D. Lazarev [et al.] // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE–2022), Tashkent, Uzbekistan, 25–28 января 2023 года. Vol. 371. – Tashkent, Uzbekistan: EDP Sciences, 2023. – P. 04008. – DOI 10.1051/e3sconf/202337104008. – EDN RCKYGA.

10. Saltelli A., Ratto M., Andres T. Global sensitivity analysis: the primer. – Chichester: Wiley, 2008. – 292 p.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_133-138
УДК 656.073:004.7

ЦЕНА ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ПРОТОКОЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПОТОКОВ В ЛОГИСТИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТНОМ КАРКАСЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

И.А. Новиков[1], Д.П. Стрекалов[1], Д.С. Чертихин[1], С.В. Анохин[1]
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Сергеевич Чертихин, chertihin@asbis31.ru

Аннотация. Рассмотрена задача оценки потерь эффективности при переходе от централизованного планирования грузовых потоков к протокольной маршрутизации в π–сети логистического транспортного каркаса России. На топологии из 238 узлов и 799 звеньев результат π–маршрутизатора сопоставлен с решением многопродуктовой потоковой задачи. Разрыв с оптимумом не превышает 1,17% на автомобильном и 0,21% на железнодорожном сообщении и растет со связностью подсети.

Ключевые слова: физический интернет, π–сеть, логистический транспортный каркас, протокольная маршрутизация, цена децентрализации, многопродуктовый поток, центральность посредничества, ГосЛог

THE PRICE OF DECENTRALIZATION OF PROTOCOL-BASED FREIGHT ROUTING IN THE LOGISTICS TRANSPORT FRAMEWORK OF THE RUSSIAN FEDERATION

I.A. Novikov[1], D.P. Strekalov[1], D.S. Chertikhin[1], S.V. Anokhin[1]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia, avtotech31@mail.ru

Abstract. The paper estimates the efficiency loss caused by replacing centralized freight flow planning with protocol–based routing in the π–network of the Russian logistics transport framework. On a topology of 238 nodes and 799 links, the π–router output is compared with the solution of a multicommodity flow problem. The gap to the optimum does not exceed 1.17% for road and 0.21% for rail and grows with subnetwork connectivity.

Keywords: Physical Internet, π–network, logistics transport framework, protocol–based routing, price of decentralization, multicommodity flow, betweenness centrality, GosLog

Цифровая трансформация грузового транспорта в России смещается от автоматизации отдельных перевозчиков к формированию общенациональной информационной среды. Транспортная стратегия Российской Федерации [1] ставит задачу бесшовной мультимодальной логистики, а Федеральный закон № 140–ФЗ [2] вводит государственную информационную систему в сфере логистики («ГосЛог»), призванную связать участников перевозочного процесса единым контуром обмена данными. Появление такого контура ставит вопрос об архитектуре управления: распределять ли грузовые потоки централизованно, решая оптимизационную задачу для всей сети, или делегировать выбор маршрута узлам, как это принято в сетях передачи данных.

© Новиков И. А., Стрекалов Д. П., Чертихин Д. С., Анохин С. В., 2026

Второй путь развивается в концепции физического интернета (Physical Internet, π–сети) [3, 4], где стандартизованные π–контейнеры перемещаются между открытыми узлами по аналогии с пакетами данных, а маршрутные решения принимаются локально на основании заголовка отправки и таблицы маршрутизации узла. Достоинства децентрализации – масштабируемость, живучесть при отказах, отсутствие единой точки отказа – хорошо изучены применительно к программно–определяемым сетям [5]. Для транспортной системы, однако, принципиален вопрос о цене этих достоинств: насколько протокольная маршрутизация уступает централизованному оптимуму по приведенным затратам и времени доставки. В теории маршрутизации близкая по смыслу величина известна как цена анархии [6], но для детерминированной протокольной маршрутизации в национальном логистическом каркасе количественные оценки отсутствуют. Цель работы – получить такую оценку и объяснить ее зависимость от структуры сети.

Логистический транспортный каркас (ЛТК) представлен мультиграфом $G = (V, E)$, вершины которого соответствуют транспортно–логистическим узлам, а звенья – участкам сообщения пяти видов транспорта: автомобильного, железнодорожного, морского, внутреннего водного и воздушного. Российский контур каркаса содержит 238 узлов и 799 звеньев, охватывает 89 субъектов Российской Федерации и все восемь федеральных округов. Граф сформирован на основе онтологической модели ЛТК, в которой классы узлов, звеньев и отправочных единиц согласованы с понятийным аппаратом платформы «ГосЛог», а целостность данных контролируется ограничениями SHACL в режиме замкнутого мира [7, 12]. Структурные характеристики рассчитаны с использованием библиотеки NetworkX [8].

Каркас связен и обладает свойствами «тесного мира»: диаметр равен 7 при средней длине маршрута 3,40 звена и коэффициенте кластеризации 0,354. Вместе с тем он предельно централизован. Для оценки централизации использован показатель посредничества узла [9]

$$b(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}, \tag{1}$$

где σ_{st} – число кратчайших путей между узлами s и t; $\sigma_{st}(v)$ – число таких путей, проходящих через узел v.

Для московского узла показатель (1) в нормированной форме составляет 0,7461, тогда как у следующего по значимости узла (Санкт–Петербург) – 0,0933, т. е. в 8,0 раза меньше. В каркасе выявлено 46 мостов и 32 точки сочленения. Глобальная эффективность сети [10] при удалении московского узла снижается до 0,755, а при случайном удалении двадцати узлов сохраняется на уровне 0,935; удельный ущерб от целенаправленного воздействия превышает ущерб от случайного в 74,9 раза. При такой структуре централизованное управление потоками уязвимо, поскольку информационный центр совпадает с топологически критичным узлом. Это является количественным аргументом в пользу распределенной π–архитектуры, но лишь при условии, что распределенное управление не влечет существенных потерь эффективности.

Для оценки потерь на одной топологии и одной матрице корреспонденций построены две точки отсчета. Первая – теоретический оптимум, определяемый решением линейной многопродуктовой потоковой задачи с агрегированием продуктов по узлу назначения [11]:

$$Z^* = \min \sum_k \sum_{a \in E} c_a \cdot x_a^k, \quad \sum_k x_a^k \le u_a, \quad \sum_{a \in \delta^+(v)} x_a^k - \sum_{a \in \delta^-(v)} x_a^k = b_v^k, \quad x_a^k \ge 0 \tag{2}$$

где x_a^k – поток продукта k (грузов, следующих в узел назначения k) по звену a; c_a – удельная стоимость (время) прохождения звена; u_a – пропускная способность звена;

$\delta^{+}(v)$, $\delta^{-}(v)$ – множества исходящих и входящих звеньев узла v; b_v^k – баланс продукта k в узле v.

Агрегирование по узлу назначения сокращает число продуктов от числа пар узлов до числа узлов и сохраняет корректность постановки, поскольку отправки с общим назначением неразличимы для маршрутизации. Оптимизатор располагает полной информацией о сети, поэтому значение Z^* является нижней границей, недостижимой для любой маршрутизации с неполной информацией.

Вторая точка отсчета – результат π–маршрутизатора. Каждый узел хранит локальную таблицу оценок стоимости достижения узлов назначения и выбирает следующий узел для π–контейнера по его заголовку:

$$w^*(v, d) = \arg\min_{w \in N(v)} \left(c_{vw} + D_w(d) \right), \tag{3}$$

где $N(v)$ – множество смежных с v узлов; c_{vw} – стоимость звена (v, w); $D_w(d)$ – оценка стоимости доставки от узла w до узла назначения d, полученная из таблицы соседнего узла.

Правило (3) аналогично дистанционно–векторной маршрутизации в сетях передачи данных и не требует знания состояния всей сети. Цена децентрализации определена как относительный разрыв между результатом протокольной маршрутизации и оптимумом:

$$\delta = \frac{Z^{\pi} - Z^*}{Z^*} \cdot 100\%, \tag{4}$$

где Z^{π} – значение целевой функции при протокольной маршрутизации.

Расчет выполнен раздельно для железнодорожной и автомобильной подсетей по двум целевым функциям: приведенным затратам и суммарному времени доставки.

Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Разрыв между протокольной маршрутизацией и теоретическим оптимумом
Table 1 – Gap between protocol–based routing and the theoretical optimum

Подсеть	**Целевая функция**	**Оптимум Z^***	**π–сеть Z^{π}**	**Разрыв δ, %**
Железнодорожная	затраты	2 672 557 604	2 678 053 966	0,206
Железнодорожная	время	107 346 862	107 516 882	0,158
Автомобильная	затраты	1 615 467 799	1 634 420 612	1,173
Автомобильная	время	12 359 614	12 422 542	0,509

Значения Z^* и Z^{π} приведены в единицах соответствующей целевой функции расчетной модели. Например, для железнодорожной подсети по затратам $\delta = \frac{2678053966 - 2672557604}{2672557604} \cdot 100\% = \frac{5496362}{2672557604} \cdot 100\% = 0{,}206\%$. Сопоставление разрывов по подсетям показано на рисунке 1.

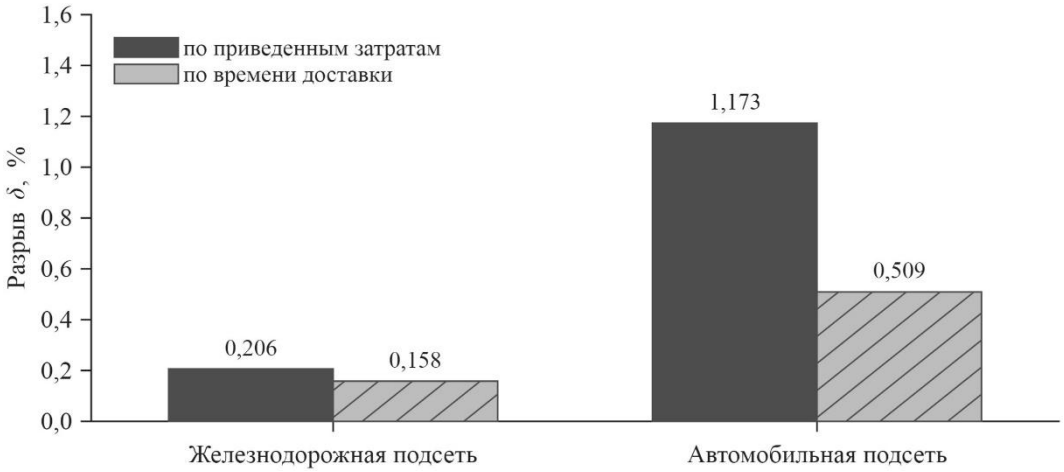


Рисунок 1 – Цена децентрализации по подсетям и целевым функциям
Figure 1 – Price of decentralization by subnetwork and objective function

Во всех четырех расчетах разрыв не превышает 1,173%, т. е. протокольная маршрутизация уступает централизованному оптимуму менее чем на полтора процента. По времени доставки разрыв в обеих подсетях меньше, чем по затратам. На железнодорожном сообщении разрыв почти на порядок меньше, чем на автомобильном (0,206% против 1,173%), и это различие находит объяснение в структуре подсетей. Железнодорожная подсеть имеет меньшую среднюю степень вершин и существенно большую долю мостов: допустимых маршрутов между парой узлов мало, и локальный выбор по правилу (3) почти всегда совпадает с глобальным. Автомобильная подсеть связнее, множество альтернативных путей шире, и пространство для расхождения локального и глобального решений увеличивается.

Таким образом, цена децентрализации возрастает со связностью подсети. Эта закономерность согласуется с теоретическим ожиданием, служит дополнительным признаком корректности расчета и позволяет прогнозировать поведение системы при развитии сети: появление новых обходов и узлов повышает живучесть каркаса, но одновременно несколько увеличивает потери от локального принятия решений. Обе тенденции необходимо учитывать совместно при проектировании контура управления.

Для цифровой платформы «ГосЛог» полученный результат означает, что выбор маршрута отдельной отправки может быть делегирован узловому уровню – π–маршрутизаторам в программно–определяемой архитектуре [5], – тогда как за центральным уровнем целесообразно сохранить формирование политик, тарифных параметров и таблиц маршрутизации, а не пооперационную оптимизацию. Такое разделение снижает нагрузку на центральный контур и устраняет зависимость управления от единственного узла с посредничеством 0,7461. Оценка выполнена для стационарной матрицы корреспонденций; учет динамики загрузки и обновления таблиц во времени является направлением дальнейших исследований.

Структурный анализ российского контура логистического транспортного каркаса (238 узлов, 799 звеньев) подтвердил его предельную централизацию и уязвимость к целенаправленному воздействию на ключевой узел. Впервые получена количественная оценка цены децентрализации управления грузовыми потоками: протокольная маршрутизация π–сети отличается от централизованного оптимума не более чем на 1,17%, причем разрыв возрастает со связностью подсети (0,206% на железнодорожном сообщении против 1,173% на автомобильном). Децентрализация управления в предлагаемой архитектуре достигается практически без потери эффективности, что обосновывает распределенную схему маршрутизации при развитии цифровой логистической платформы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. – URL: http://government.ru/docs/all/137914/ (дата обращения: 11.11.2026).

2. Российская Федерация. Законы. О внесении изменений в Федеральный закон «О транспортно-экспедиционной деятельности» и отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 07.06.2025 № 140-ФЗ // Официальное опубликование правовых актов. – Москва. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202506070016 (дата обращения: 11.11.2026).

3. Montreuil, B. Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge / B. Montreuil // Logistics Research. – 2011. – Vol. 3, № 2–3. – P. 71–87.

4. Ballot, E. The Physical Internet: The Network of Logistics Networks / E. Ballot, B. Montreuil, R. D. Meller. – Paris : La Documentation Française, 2014. – 210 p.

5. Kreutz, D. Software–Defined Networking: A Comprehensive Survey / D. Kreutz [et al.] // Proceedings of the IEEE. – 2015. – Vol. 103, № 1. – P. 14–76.

6. Roughgarden, T. Selfish Routing and the Price of Anarchy / T. Roughgarden. – Cambridge : MIT Press, 2005. – 196 p.

7. Shapes Constraint Language (SHACL) : W3C Recommendation, 20 July 2017 / H. Knublauch, D. Kontokostas. – URL: https://www.w3.org/TR/2017/REC-shacl-20170720/ (дата обращения: 11.11.2026).

8. Hagberg, A. A. Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX / A. A. Hagberg, D. A. Schult, P. J. Swart // Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008). – Pasadena, 2008. – P. 11–15.

9. Freeman, L. C. A set of measures of centrality based on betweenness / L. C. Freeman // Sociometry. – 1977. – Vol. 40, № 1. – P. 35–41.

10. Latora, V. Efficient behavior of small–world networks / V. Latora, M. Marchiori // Physical Review Letters. – 2001. – Vol. 87, № 19. – 198701.

11. Ahuja, R. K. Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications / R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, J. B. Orlin. – Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1993. – 846 p.

12. Новиков, И.А. Концепция формирования транспортного контура мультимодальных перевозок / И. А. Новиков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2026. – № 3. – С. 11–21. – DOI 10.25198/2077–7175–2026–3–11. – EDN EROMYL.

REFERENCES

1. Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035: approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-R. – URL: http://government.ru/docs/all/137914 / (date of request: 11.11.2026).

2. The Russian Federation. Laws. On Amendments to the Federal Law "On Freight Forwarding Activities" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation : Federal Law No. 140-FZ dated 06/07/2025 // Official Publication of Legal Acts. – Moscow. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202506070016 (date of request: 11.11.2026).

3. Montreuil, B. Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge / B. Montreuil // Logistics Research. – 2011. – Vol. 3, № 2–3. – P. 71–87.

4. Ballot, E. The Physical Internet: The Network of Logistics Networks / E. Ballot, B. Montreuil, R. D. Meller. – Paris : La Documentation Française, 2014. – 210 p.

5. Kreutz, D. Software–Defined Networking: A Comprehensive Survey / D. Kreutz [et al.] // Proceedings of the IEEE. – 2015. – Vol. 103, № 1. – P. 14–76.

6. Roughgarden, T. Selfish Routing and the Price of Anarchy / T. Roughgarden. – Cambridge : MIT Press, 2005. – 196 p.

7. Shapes Constraint Language (SHACL) : W3C Recommendation, 20 July 2017 / H. Knublauch, D. Kontokostas. – URL: https://www.w3.org/TR/2017/REC-shacl-20170720 / (date of request: 11.11.2026).

8. Hagberg, A. A. Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX / A. A. Hagberg, D. A. Schult, P. J. Swart // Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008). – Pasadena, 2008. – P. 11–15.

9. Freeman, L. C. A set of measures of centrality based on betweenness / L. C. Freeman // Sociometry. – 1977. – Vol. 40, № 1. – P. 35–41.

10. Latora, V. Efficient behavior of small–world networks / V. Latora, M. Marchiori // Physical Review Letters. – 2001. – Vol. 87, № 19. – 198701.

11. Ahuja, R. K. Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications / R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, J. B. Orlin. – Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1993. – 846 p.

12. Novikov, I.A. The concept of forming a multimodal transport contour / I. A. Novikov // Intelligence. Innovation. Investment. – 2026. – No. 3. – pp. 11-21. – DOI 10.25198/2077-7175-2026-3-11. – EDN EROMYL.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_139-142
УДК 654.16

ПРИНЦИПЫ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ИТ-РЕШЕНИЙ

А.С. Лукьянов[1], М.Р. Верёвкина[2], К.Д. Дьякова[3]
[1] Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, las92@yandex.ru
[2] Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, Verevkina04@mail.ru
[3] Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, diakovaksenia@yandex.ru

Аннотация. В данном материале рассмотрены основные принципы внедрения ИТ-решений в сферу безопасности дорожного движения, организационные аспекты их применения, а также перспективные направления развития.
Ключевые слова: информационные технологии, интеллектуальные транспортные системы, безопасность дорожного движения.

PRINCIPLES, ORGANIZATION, AND PROSPECTS OF ROAD SAFETY BASED ON MODERN IT SOLUTIONS

A.S. Lukyanov[1], M.R. Veryovkina[2], K.D. Dyakova[3]
[1] Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia, las92@yandex.ru
[2] Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia, Verevkina04@mail.ru
[3] Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia, diakovaksenia@yandex.ru

Abstract. This material examines the main principles of implementing IT solutions in the field of road safety, the organizational aspects of their application, as well as promising areas for development.
Keywords: information technology, intelligent transport systems, road safety.

В современной системе государственного управления вопрос дорожной безопасности занимает центральное место. Необходимость принятия определенных мер продиктована неутешительными данными: ежегодный уровень смертности и травматизма на дорогах достигает сотен тысяч человек, а экономические потери от аварий исчисляются значительными суммами. Традиционные методы обеспечения безопасности (улучшение дорожной инфраструктуры, усиление контроля) остаются важными, но уже недостаточны для решения проблемы в условиях роста интенсивности трафика и усложнения городской среды.

Современные информационные технологии (ИТ) открывают принципиально новые возможности: от сбора и анализа больших данных до автоматизированного контроля дорожной обстановки в реальном времени.

Эффективная организация дорожного движения на основе ИТ-решений требует интеграции различных уровней управления, представленных на рисунке 1. В прикладном аспекте это достигается путем консолидации управления в единых центрах, внедрения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и формирования кросс-отраслевых информационных сред, обеспечивающих взаимодействие между государственными структурами и частным сектором [1].

© Лукьянов А. С., Верёвкина М. Р., Дьякова К. Д., 2026

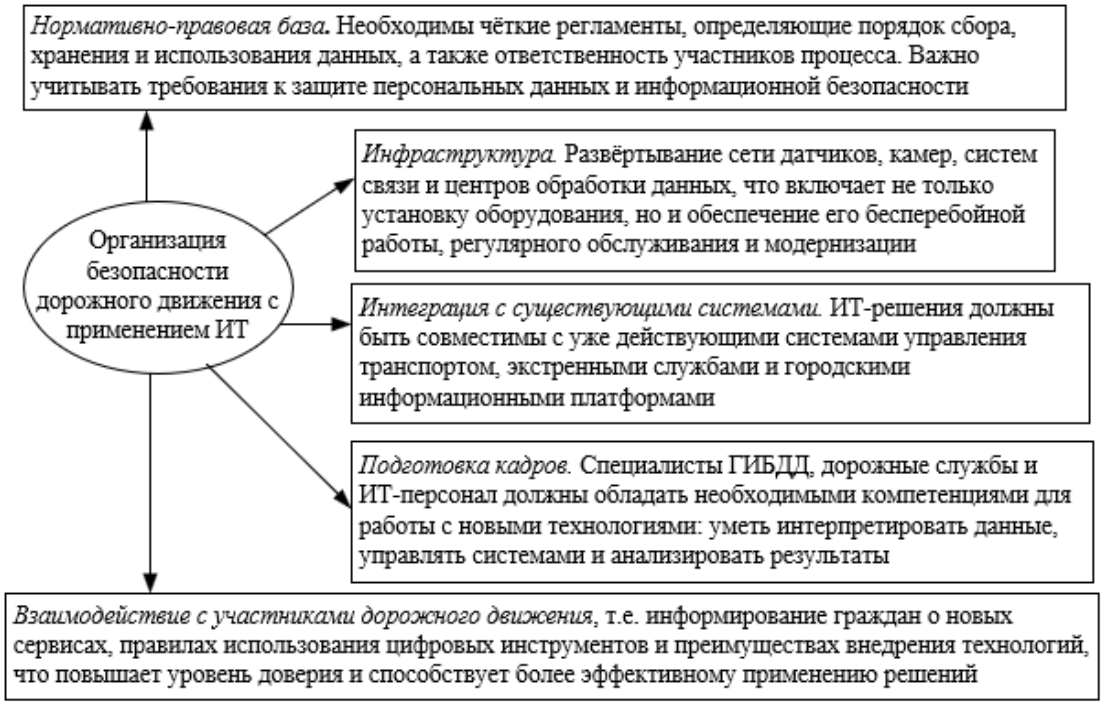


Рисунок 1 – Организация внедрения ИТ-решений в безопасность дорожного движения
Figure 1 – Organization of IT solutions implementation in road safety

Основными принципами для безопасности дорожного движения, на которых строится использование ИТ в этой сфере, являются:

1. *Принцип предиктивности*, т.е. использование аналитики и машинного обучения для выявления потенциально опасных участков дорог и прогнозирования аварийных ситуаций. Например, анализ статистики ДТП, погодных условий, времени суток и плотности трафика позволяет формировать «карты риска» и заранее принимать меры [2].

2. *Принцип интеграции данных*, т.е. объединение информации из разных источников: камер видеонаблюдения, датчиков транспорта, метеостанций, телематики автомобилей, мобильных приложений. Единое информационное пространство даёт более полную картину дорожной обстановки.

3. *Принцип автоматизации контроля и реагирования,* т.е. применение технологий компьютерного зрения и распознавания номеров для автоматического выявления правонарушений и оперативного реагирования служб.

4. *Принцип адаптивности.* Системы должны гибко подстраиваться под изменяющиеся условия: регулировать работу светофоров, менять скоростные режимы, информировать водителей и диспетчеров в зависимости от текущей ситуации.

5. *Принцип прозрачности и подотчётности*, т.е. все принимаемые решения и действия систем должны быть документированы и доступны для аудита, чтобы обеспечить доверие общества и возможность анализа эффективности мер.

Среди наиболее востребованных технологий и тенденций, которые в ближайшие годы ожидаются, представлено на рисунке 2. [3]. Примеры успешного применения таких технологий уже есть в крупных городах: адаптивное управление светофорами, системы автоматической фиксации нарушений, сервисы информирования водителей о пробках и авариях.



Рисунок 2 – Применение и перспективы развития ИТ-решений
Figure 2 – Application and Development Prospects of IT Solutions

Современные ИТ-решения кардинально меняют подход к обеспечению безопасности дорожного движения, что позволяет перейти от реактивных мер к про активным, от разрозненных действий к системному управлению рисками [4]. Однако успех внедрения таких технологий зависит не только от технического прогресса, но и от грамотной организации процессов, подготовки кадров и выстраивания эффективного взаимодействия всех участников. Дальнейшее развитие этого направления открывает широкие возможности для снижения аварийности, повышения комфорта и устойчивости транспортной системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Душкин Р.В. Интеллектуальные транспортные системы. / Р. В. Душкин // - М.: ДМК Пресс, 2020. - 282 с.

2. Жайворонок Д. А. Повышение безопасности движения транспортных средств индивидуальной мобильности и возможные пути их решения / Д. А. Жайворонок, Э. Н. Бусарин, Р. А. Кораблев, С. Э. Бусарина, С. В. Внукова, Р. А. Сподарев // Будущее науки: инновации и междисциплинарные исследования. Национальная научно-практическая конференция. – Воронеж, 2025. – С. 44-47.

3. Сафиуллин Р.Р., Симонова Л.А. Комплексные подходы внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортные системы. — М.: Директ-Медиа, 2024. - 500 с.

4. Солодкий А.И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап // Интеллект. Инновации. Инвестиции. - 2020. - № 6. - С. 10–19.

REFERENCES

1. Dushkin R.V. Intelligent Transport Systems / R.V. Dushkin // – Moscow: DMK Press, 2020. – 282 p.

2. Zhayvoronok D. A. Improving the safety of individual mobility vehicles and possible ways to address the issues / D. A. Zhayvoronok, E. N. Busarin, R. A. Korablev, S. E. Busarina, S. V. Vnukov, R. A. Spodarev // Collection: The Future of Science: Innovations and Interdisciplinary Research. National Scientific and Practical Conference. – Voronezh, 2025. – Pp. 44–47.

3. Safiullin R.R., Simonova L.A. Comprehensive Approaches to Implementing Integrated Intelligent Technologies in Transport Systems. — Moscow: Direct-Media, 2024. — 500 p.

4. Solodkiy A.I. Development of Intelligent Transport Systems in Russia: Problems and Ways to Solve Them. A New Stage // Intelligence. Innovations. Investment. - 2020. - No. 6. - Pp. 10–19.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_143-148
УДК 332.1

ТРАНСПОРТНАЯ СВЯЗАННОСТЬ КАК ФАКТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ

Н.А. Азарова[1], В.А. Зеликов[1], В.А. Иванников[1], Г.Д. Жайворонок[1], С.А. Швырев[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, azarovarsd@rambler.ru

Аннотация. В статье рассмотрена транспортная связанность как фактор экономического развития регионов России. На основе данных Росстата за 2024 г. проведена оценка межрегиональных различий в плотности автомобильных и железнодорожных путей, а также определен характер их взаимосвязи с величиной валового регионального продукта на душу населения.

Ключевые слова: транспортная связанность; транспортная инфраструктура; экономическое развитие; регионы России; межрегиональные различия; автомобильные дороги; железнодорожные пути; валовой региональный продукт; региональная экономика.

TRANSPORT CONNECTIVITY AS A FACTOR IN THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF RUSSIAN REGIONS

N.A. Azarova[1], V.A. Zelikov[1], V.A. Ivannikov[1], G.D. Zhayvoronok[1], S.A. Shvyrev[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, azarovarsd@rambler.ru

Abstract. The article examines transport connectivity as a factor in the economic development of Russian regions. Based on Rosstat data for 2024, interregional differences in the density of roads and railways are assessed, and the relationship between these indicators and gross regional product per capita is determined.

Keywords: transport connectivity; transport infrastructure; economic development; Russian regions; interregional differences; roads; railways; gross regional product; regional economy.

Пространственные различия являются одной из устойчивых особенностей экономического развития регионов России. Значительная протяженность территории страны, неодинаковая плотность расселения и концентрация хозяйственной деятельности определяют существенные различия в обеспеченности регионов транспортной инфраструктурой. В этих условиях транспортная связанность приобретает значение не только инфраструктурной характеристики территории, но и одного из факторов регионального экономического развития [2–4].

Развитая транспортная сеть расширяет возможности перемещения товаров, трудовых ресурсов и населения, обеспечивает доступ хозяйствующих субъектов к рынкам и способствует развитию межрегиональных экономических связей [2; 4; 7]. Недостаточная транспортная обеспеченность, напротив, увеличивает издержки взаимодействия между территориями и может ограничивать использование их экономического потенциала. Поэтому состояние транспортной инфраструктуры

© Азарова Н. А., Зеликов В. А., Иванников В. А., Жайворонок Г. Д., Швырев С. А., 2026

особенно важно для России, где расстояния между центрами производства, потребления и расселения существенно различаются по территории страны [1; 2].

Вместе с тем влияние транспортной связанности на экономическое развитие регионов не является однозначным [4; 6]. Высокая плотность транспортной сети характерна прежде всего для территорий с высокой концентрацией населения и хозяйственной деятельности. Значительная часть северных и восточных регионов отличается большой площадью и сравнительно редкой сетью путей сообщения. При этом отдельные территории с невысокой плотностью транспортной инфраструктуры могут иметь высокий уровень валового регионального продукта на душу населения вследствие особенностей отраслевой структуры и ресурсной специализации экономики. Следовательно, транспортную связанность необходимо рассматривать с учетом выраженной межрегиональной неоднородности российского экономического пространства [2; 5; 6].

Целью исследования является оценка различий транспортной связанности регионов России и выявление ее взаимосвязи с уровнем их экономического развития. Для достижения поставленной цели транспортная связанность рассматривается через обеспеченность территории основными видами наземной транспортной инфраструктуры. В качестве показателей транспортной связанности использованы плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием и плотность железнодорожных путей общего пользования [8]. Уровень экономического развития регионов оценивается по величине валового регионального продукта на душу населения [9].

Исследование включает два последовательных этапа:

на первом этапе оцениваются межрегиональные различия в обеспеченности транспортной инфраструктурой;

на втором этапе проводится сопоставление показателей транспортной связанности с уровнем ВРП на душу населения и оценивается характер связи между ними. Для этого используются методы описательной статистики, сравнительного и корреляционного анализа.

Таблица 1 – Показатели оценки транспортной связанности и экономического развития регионов России

Table 1 – Indicators for assessing transport connectivity and economic development of Russian regions

Направление оценки	Показатель	Единица измерения	Назначение показателя
Автомобильная инфраструктура	Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием	км путей на 1000 км² территории	Характеризует обеспеченность территории дорожной сетью
Железнодорожная инфраструктура	Плотность железнодорожных путей общего пользования	км путей на 10 000 км² территории	Характеризует обеспеченность территории железнодорожной сетью
Экономическое развитие	ВРП на душу населения	руб. на человека	Характеризует уровень экономического развития региона

Источник: составлено автором по данным Росстата [8; 9].

В основную выборку включены 73 территориальные единицы, по которым имеются сопоставимые значения всех рассматриваемых показателей за 2024 г. [8; 9]. Города федерального значения исключены из сравнительного анализа, поскольку особенности их территории, плотности населения и концентрации транспортной инфраструктуры существенно отличаются от остальных субъектов Российской Федерации. Их включение могло привести к смещению результатов при использовании показателей плотности транспортной сети.

Проведенные расчеты показали значительную неоднородность российских регионов по уровню экономического развития и обеспеченности транспортной инфраструктурой. В основную выборку вошли 73 территориальные единицы, по которым имелись сопоставимые данные за 2024 г. Результаты описательного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики распределения исследуемых показателей в 2024 г.
Table 2 – Main distribution characteristics of the analyzed indicators in 2024

Показатель	Среднее значение	Медиана	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент вариации, %
ВРП на душу населения, руб.	960 767,0	788 412,4	204 565,5	4 725 734,1	68,9
Плотность автомобильных дорог, км на 1000 км²	270,0	255,4	4,1	1 050,9	81,6
Плотность железнодорожных путей, км на 10 000 км²	159,7	143,0	3,0	491,0	65,2

Источник: рассчитано автором по данным Росстата [8; 9].

Наиболее выраженные межрегиональные различия выявлены по плотности автомобильных дорог. Коэффициент вариации данного показателя составил 81,6%, что свидетельствует о существенной неоднородности территорий по обеспеченности автодорожной сетью. Максимальное значение зафиксировано в Республике Ингушетия – 1 050,9 км дорог на 1000 км² территории. Минимальная плотность автомобильных дорог отмечена в Республике Саха (Якутия) – 4,1 км на 1000 км². Таким образом, различия между крайними значениями превышают 250 раз.

Высокая плотность автомобильных дорог характерна преимущественно для сравнительно небольших по площади и густонаселенных территорий. Помимо Республики Ингушетия, высокими значениями отличаются Белгородская область, Республика Северная Осетия – Алания, Кабардино–Балкарская и Чеченская республики. Низкие показатели преобладают в северных и восточных регионах, занимающих значительную территорию и имеющих невысокую плотность населения [2; 8].

По плотности железнодорожных путей коэффициент вариации составил 65,2%. Максимальное значение получено для Московской области – 491 км путей на 10 000 км² территории. Минимальное значение отмечено в Республике Саха (Якутия) – 3 км на 10 000 км². Значительный разрыв между регионами объясняется исторически сложившимся размещением железнодорожной сети, концентрацией населения и хозяйственной деятельности в европейской части страны, а также пространственными масштабами северных и восточных территорий [1; 2; 8].

Межрегиональная неоднородность характерна и для уровня экономического развития. Коэффициент вариации ВРП на душу населения составил 68,9%. Минимальное

значение показателя зафиксировано в Республике Ингушетия – 204,6 тыс. руб. на человека, максимальное – в Тюменской области, где оно достигло 4 725,7 тыс. руб. на человека. Существенный разрыв между средним и медианным значениями указывает на влияние группы регионов с высоким ВРП на душу населения, экономика которых связана преимущественно с добычей и переработкой природных ресурсов [8; 9].

Сопоставление полученных результатов показывает, что высокие значения ВРП на душу населения не всегда соответствуют высокой плотности транспортной сети. Тюменская область, Республика Саха (Якутия), Сахалинская область, Республика Коми и Красноярский край имеют сравнительно высокий уровень ВРП на душу населения при невысокой плотности автомобильных дорог. Напротив, отдельные республики Северного Кавказа отличаются высокой плотностью автодорожной сети, но сравнительно невысоким уровнем экономического развития.

Выявленные различия подтверждают, что показатели плотности транспортной сети необходимо интерпретировать с учетом площади территории, особенностей расселения и отраслевой специализации региональной экономики. Поэтому высокая плотность дорог сама по себе не свидетельствует о высокой транспортной связанности во всех ее проявлениях, а низкое значение показателя не всегда означает недостаточное использование экономического потенциала территории [2; 4; 6].

Для оценки характера взаимосвязи между транспортной обеспеченностью и уровнем экономического развития были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона и Спирмена. Использование двух коэффициентов позволяет сопоставить линейную связь показателей и устойчивость их рангового соотношения. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты корреляционного анализа
Table 3 – Results of the correlation analysis

Сопоставляемые показатели	Коэффициент Пирсона	p–значение	Коэффициент Спирмена	p–значение
ВРП на душу населения и плотность автомобильных дорог	−0,397	< 0,001	−0,500	< 0,001
ВРП на душу населения и плотность железнодорожных путей	−0,260	0,026	−0,223	0,058

Источник: рассчитано автором по данным Росстата [8; 9].

Между ВРП на душу населения и плотностью автомобильных дорог получена умеренная отрицательная связь. Коэффициент корреляции Пирсона составил −0,397 при $p < 0,001$. Коэффициент Спирмена также имеет отрицательное значение и равен −0,500 при $p < 0,001$. Совпадение направления и статистической значимости двух коэффициентов показывает, что выявленное соотношение не определяется только отдельными крайними наблюдениями.

Связь ВРП на душу населения с плотностью железнодорожных путей оказалась слабее. Коэффициент Пирсона составил −0,260 и является статистически значимым на 5%–ном уровне. Коэффициент Спирмена равен −0,223, однако его статистическая значимость находится за пределами принятого 5% уровня. Следовательно, устойчивой ранговой зависимости между данными показателями не выявлено.

Отрицательное направление полученных связей не означает негативного влияния транспортной инфраструктуры на экономическое развитие. Корреляционный анализ отражает сложившееся распределение показателей, но не устанавливает причинно–

следственную зависимость между ними. Полученные значения во многом определяются пространственными и структурными особенностями регионов России [2; 4; 6].

Высокий ВРП на душу населения в ряде северных и восточных регионов формируется за счет ресурсной специализации экономики [8]. При этом значительная площадь территории приводит к низким значениям плотности автомобильных и железнодорожных путей. В компактных и густонаселенных регионах, напротив, плотность транспортной сети может быть высокой, но ограниченный производственный потенциал и особенности отраслевой структуры не обеспечивают сопоставимого уровня ВРП на душу населения [2; 6; 8].

Таким образом, проведенный анализ показывает, что транспортная связанность выступает одним из условий регионального экономического развития, однако ее влияние не может быть оценено только по плотности транспортной сети. Для объяснения различий между регионами необходимо учитывать особенности расселения, размеры территории, отраслевую специализацию и интенсивность использования транспортной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363–р (ред. от 06.11.2024). URL: https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577 (дата обращения: 13.09.2026).
2. Ускова Т. В. Транспортная инфраструктура как фактор развития территорий и связанности экономического пространства // Проблемы развития территории. 2021. Т. 25. № 3. С. 7–22. DOI: 10.15838/ptd.2021.3.113.1.
3. Руднева Л. Н., Кудрявцев А. М. Транспортная инфраструктура региона: понятие и факторы формирования // Российское предпринимательство. 2013. Т. 14. № 24. С. 139–144.
4. Бережная Л. Ю. Взаимосвязь транспортной инфраструктуры и регионального развития // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. № 3. С. 1–9. URL: https://esj.today/PDF/23ECVN319.pdf (дата обращения: 13.09.2026).
5. Бережная Л. Ю. Роль транспортной инфраструктуры в развитии приграничного региона // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2021. № 4 (118). С. 109–117. DOI: 10.21686/2413–2829–2021–4–109–117.
6. Yin F., Qian Y., Zeng J., Wei X. The Spatial Spillover Effects of Transportation Infrastructure on Regional Economic Growth: An Empirical Study at the Provincial Level in China // Sustainability. 2024. Vol. 16. No. 19. Art. 8689. DOI: 10.3390/su16198689.
7. Li W., Bai X., Yang D., Hou Y. Maritime Connectivity, Transport Infrastructure Expansion and Economic Growth: A Global Perspective // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2023. Vol. 170. Art. 103609. DOI: 10.1016/j.tra.2023.103609.
8. Регионы России. Социально–экономические показатели. 2025: статистический сборник. М.: Росстат, 2025.
9. Валовой региональный продукт по субъектам Российской Федерации в 1998–2024 гг. // Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts (дата обращения: 13.09.2026).

REFERENCES

1. Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a Forecast up to 2035: approved by the Order of the Government of the Russian Federation No. 3363–r dated November 27, 2021 (as amended on November 6, 2024). URL: https://mintrans.gov.ru/documents/2/11577 (accessed September 13, 2026). (In Russian).

2. Uskova T.V. Transport infrastructure as a factor of territorial development and connectivity of economic space. Problems of Territory's Development, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 7–22. DOI: 10.15838/ptd.2021.3.113.1. (In Russian).

3. Rudneva L.N., Kudryavtsev A.M. Transport infrastructure of a region: concept and formation factors. Russian Journal of Entrepreneurship, 2013, vol. 14, no. 24, pp. 139–144. (In Russian).

4. Berezhnaya L.Yu. Interrelation between transport infrastructure and regional development. The Eurasian Scientific Journal, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 1–9. URL: https://esj.today/PDF/23ECVN319.pdf (accessed September 13, 2026). (In Russian).

5. Berezhnaya L.Yu. The role of transport infrastructure in the development of a border region. Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics, 2021, no. 4 (118), pp. 109–117. DOI: 10.21686/2413–2829–2021–4–109–117. (In Russian).

6. Yin F., Qian Y., Zeng J., Wei X. The spatial spillover effects of transportation infrastructure on regional economic growth: An empirical study at the provincial level in China. Sustainability, 2024, vol. 16, no. 19, article 8689. DOI: 10.3390/su16198689.

7. Li W., Bai X., Yang D., Hou Y. Maritime connectivity, transport infrastructure expansion and economic growth: A global perspective. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2023, vol. 170, article 103609. DOI: 10.1016/j.tra.2023.103609.

8. Regions of Russia. Socio–Economic Indicators. 2025: Statistical Handbook. Moscow, Rosstat, 2025. (In Russian).

9. Gross regional product by constituent entities of the Russian Federation in 1998–2024. Federal State Statistics Service. URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts (accessed September 13, 2026). (In Russian).

DOI: 10.58168/DPIITT2026_149-152
УДК 378.147:629.33

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАГОТОВКИ И ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ ХВОЙНОГО СЫРЬЯ: МИРОВАЯ И ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРАКТИКА

Ф.А. Шакина[1], Д.А. Жайворонок[1], Э.А. Черников[1], Е.Р. Вернигора[1], С.Н. Крухмалев[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Денис Александрович Жайворонок, dzhaivoronok@bk.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к промышленной заготовке хвойной лапки и ее последующей доставке автомобильным транспортом. Анализируется зарубежный опыт механизированной валки и пакетирования, а также особенности отечественных технологических решений, адаптированных к условиям северных лесозаготовок. Отдельное внимание уделено логистическим схемам, обеспечивающим сохранность биологически активных веществ при перевозке.

Ключевые слова: хвоя, биологически активные вещества, транспорт, валка, пакетирование, лесозаготовка, перевозка.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF HARVESTING AND TRANSPORT LOGISTICS OF CONIFEROUS RAW MATERIALS: WORLD AND DOMESTIC PRACTICE

F.A. Shakina[1], D.A. Zhayvoronok[1], E. A. Chernikov[1], E.R. Vernigora[1], S.N. Krukhmalev[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Denis Alexandrovich Zhayvoronok, dzhaivoro–nok@bk.ru

Abstract. The article discusses modern approaches to industrial harvesting of coniferous bark and its subsequent delivery by road. The article analyzes the foreign experience of mechanized felling and bundling, as well as the features of domestic technological solutions adapted to the conditions of northern logging. Special attention is paid to logistics schemes that ensure the safety of biologically active substances during transportation.

Keywords: needles, biologically active substances, transportation, felling, packing, logging, transportation.

В статье рассматриваются современные подходы к промышленной заготовке хвойной лапки и ее последующей доставке автомобильным транспортом. Анализируется зарубежный опыт механизированной валки и пакетирования, а также особенности отечественных технологических решений, адаптированных к условиям северных лесозаготовок. Отдельное внимание уделено логистическим схемам, обеспечивающим сохранность биологически активных веществ при перевозке.

Интерес к хвойному сырью как источнику ценных биологических соединений (эфирные масла, витамины, фитонциды) в последние годы приобрел устойчивый промышленный характер. Если ранее заготовка веток велась кустарно и преимущественно в зимний период, то сегодня речь идет о создании полноценных технологических цепочек «дерево – потребитель». Ключевым звеном в этой цепочке выступает не только качество

© Шакина Ф. А., Жайворонок Д. А., Черников Э. А., Вернигора Е. Р., Крухмалев С. Н., 2026

сбора, но и грамотно выстроенная транспортная инфраструктура, где автотранспорт играет доминирующую роль благодаря своей мобильности и возможности доставки сырья непосредственно к местам переработки в условиях отсутствия развитой железнодорожной сети в лесных массивах.

За рубежом, в частности в Скандинавии (Финляндия, Швеция) и Канаде, заготовка хвои давно перестала быть побочным продуктом лесозаготовки. Там распространена практика, при которой хвойная лапка заготавливается не отдельно, а как часть комплексной сортировки деревьев. Основной упор делается на специализированные харвестерные головки, оснащенные дополнительными ножами для срезания ветвей. Интересной особенностью финского подхода является использование так называемых «щеповозов» с адаптивными кузовами, которые позволяют транспортировать как щепу, так и цельную лапку с минимальной потерей эфирных масел. Канадские компании, в свою очередь, активно внедряют системы предварительной аэрации в кузовах, чтобы избежать «горения» сырья в пути, так как свежая хвоя при высокой плотности укладки начинает выделять тепло.

Стоит отметить, что в Европе существует строгая регламентация сроков перевозки: от момента валки до переработки должно пройти не более 48 часов. Это достигается за счет оптимизации маршрутов и использования систем спутникового мониторинга, которые позволяют в реальном времени корректировать график подачи машин на делянку.

Российский опыт заготовки хвои исторически базировался на ручном труде, который был характерен для леспромхозов Сибири и Дальнего Востока. Однако в последнее десятилетие наметился сдвиг в сторону индустриализации. На Урале и в Архангельской области активно внедряются мобильные установки для переработки хвои прямо на верхних складах. Специфика отечественного подхода заключается в использовании более тяжелой техники, адаптированной к работе в условиях глубокого снега и морозов. Часто применяются модернизированные трелевочные тракторы, оборудованные съемными емкостями для сбора лапки.

Важной особенностью является то, что в РФ до сих пор высок процент заготовки хвои с использованием ручных сучкорезов на лесосеке. Тем не менее, это компенсируется применением навесного оборудования для уплотнения сырья при погрузке. Российские производители лесовозных автопоездов (например, КАМАЗ в северном исполнении) все чаще комплектуются гидроманипуляторами с повышенным вылетом стрелы, что позволяет работать с древесной зеленью без привлечения дополнительной техники.

Транспортировка древесной зелени (хвои) для производства хвойной витаминной муки и сопутствующих продуктов имеет ряд ограничений, обусловленных свойствами сырья. Свежезаготовленная хвоя обладает высокой влажностью (50–60%) и малым насыпным весом (в среднем 150–250 кг/м³). Главным риском при доставке является интенсивное самосогревание массы. При плотной укладке внутри хвойного массива быстро повышается температура. Достижение отметки в 40–50 °С приводит к необратимому разрушению каротина, витаминов и эфирных масел, что делает сырье непригодным для дальнейшей переработки. Сырье также склонно к слеживанию, что блокирует естественный воздухообмен и ускоряет процессы гниения.

На практике, при транспортировке хвойной лапки, используется, так называемый принцип «слоеного пирога» Это метод послойного чередования разнородных материалов в кузове для защиты биомассы от самосогревания и оптимизации загрузки транспорта. Вместо заполнения кузова однородным монолитом создается вентилируемая слоистая структура.

В теплое время года на дно кузова укладывают дренажную подушку из крупной щепы или ветвей без зелени, а целевую хвойную массу через каждые 50–70 см перекладывают воздушными коридорами из сучьев.

В России часто применяются модернизированные трелевочные тракторы со съемными емкостями для сбора лапки. На этапе вывозки с лесосеки используются специальные ящики (кузова) на тракторных санях, что позволяет механизировать процесс и отказаться от гужевого транспорта. Для магистральных перевозок используются лесовозные автопоезда (например, КАМАЗ в северном исполнении) с гидроманипуляторами с увеличенным вылетом стрелы.

Из–за того, что расходы на перевозку не субсидируются государством, предприятия ищут нестандартные решения. Одним из них является создание временных мобильных пунктов переработки, что позволяет сократить «плечо доставки» до 20–30 км.

В России перевозка хвойной лапки, особенно в предновогодний период, жестко регламентируется на региональном уровне. Для провоза требуются специальные документы (ордер, товарно-транспортная накладная), выданные лесхозами, и они действительны в течение суток

В Финляндии и Швеции используется практика комплексной сортировки деревьев с применением харвестерных головок, оснащенных ножами для срезания ветвей. Для транспортировки применяются «щеповозы» с адаптивными кузовами, позволяющие перевозить как щепу, так и цельную лапку с минимальными потерями эфирных масел. Канадские компании внедряют системы предварительной аэрации в кузовах, чтобы избежать «горения» (перегрева) свежей хвои при высокой плотности укладки. В Европе существует строгая регламентация: от момента валки до переработки должно пройти не более 48 часов, что достигается за счет спутникового мониторинга и оптимизации маршрутов. Перемещение хвойной продукции (включая ветки) через границы регулируется строгими фитосанитарными правилами для предотвращения распространения вредителей, таких как сосновый лубоед (Tomicus piniperda) или сосновая стволовая нематода (Bursaphelenchus xylophilus). Например, Канада требует, чтобы сухие сосновые ветки диаметром менее 1.5 см были освобождены от фитосанитарных требований, а более крупные партии подлежат обработке или инспекции

Мировой и отечественный опыт доказывают, что успешная переработка хвои невозможна без специализированной логистики, учитывающей склонность сырья к быстрому самосогреванию и порче биологически активных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаренок, В. А. Лесозаготовительные и лесоскладские работы : учебник / В. А. Азаренок, Н. А. Герц, С. В. Залесов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун–т, 2019. – 420 с.
2. Девятловский, Д. Н. Логистика лесозаготовительного производства : монография / Д. Н. Девятловский, В. А. Медведев. – Красноярск : СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2021. – 168 с.
3. Цифровая трансформация контрольно–надзорной деятельности Госавтоинспекции / Ф. А. Шакина, Д. А. Жайворонок, В. А. Зеликов [и др.] // Современные технологии и системы на транспорте: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно–практической конференции, Воронеж, 23–24 апреля 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2026. – С. 7–13. – DOI 10.58168/MTST2026_7–13. – EDN MXLJPN.
4. Ерофеев, А. В. Перевозка древесного сырья автомобильным транспортом: современные требования и технологические решения / А. В. Ерофеев // Лесной вестник. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 78–86.
5. Жайворонок, Д. А. Перспективы применения синтетического электро–топлива в контексте декарбонизации транспорта / Д. А. Жайворонок, Ф. А. Шакина, С. Н. Крухмалев //

Автомобильное и тракторное машиностроение России: пути развития и подготовка кадров : Материалы Всероссийской научно–практической конференции, Воронеж, 13–14 ноября 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 38–43. – DOI 10.58168/ATER2025_38–43. – EDN CKKOBL.

6. Романов, Д. В. Автомобильный транспорт в лесозаготовительной логистике: особенности перевозки сыпучих и парусных лесных грузов / Д. В. Романов, Е. Н. Кузнецов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 2. – С. 25–35.

7. Федеральное агентство лесного хозяйства. О состоянии и использовании лесов Российской Федерации за 2023 год : государственный доклад. – Москва : Рослесхоз, 2024. – 220 с.

REFERENCES

1. Azarenok, V. A. Logging and logging operations : textbook / V. A. Azarenok, N. A. Hertz, S. V. Zalesov. Yekaterinburg : Ural State Forestry University. Univ., 2019. 420 p.

2. Devyatlovsky, D. N. Logistics of logging production : a monograph / D. N. Devyatlovsky, V. A. Medvedev. Krasnoyarsk : SibGU named after M. F. Reshetnev, 2021. 168 p.

3. Digital transformation of the control and supervisory activities of the State Automobile Inspectorate / F. A. Shakina, D. A. Zhaivoronok, V. A. Zelikov [et al.] // Modern technologies and systems in transport: problems and prospects : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 23–24, 2026. Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2026. pp. 7–13. – DOI 10.58168/MTST2026_7–13. – EDN MXLJPN.

4. Yerofeyev, A.V. Transportation of wood raw materials by road: modern requirements and technological solutions / A.V. Yerofeyev // Lesnoy Vestnik. – 2022. – Vol. 26, No. 4. – pp. 78–86.

5. Zhayvoronok, D. A. Prospects for the use of synthetic electric fuels in the context of decarbonization of transport / D. A. Zhayvoronok, F. A. Shakina, S. N. Krukhmalev // Automotive and tractor engineering in Russia: ways of development and training cadres : Proceedings of the All–Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, November 13–14, 2025. Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2025. pp. 38–43. – DOI 10.58168/ATER2025_38–43. – EDN CKKOBL.

6. Romanov, D. V. Automobile transport in logging logistics: features of transportation of bulk and sailing forest cargo / D. V. Romanov, E. N. Kuznetsov // Transport. Transport facilities. Ecology. – 2022. – No. 2. – pp. 25–35.

7. Federal Forestry Agency. On the state and use of forests of the Russian Federation in 2023 : state report. – Moscow : Rosleskhoz, 2024. 220 p.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_153-156
УДК: 656.1:534.2

ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ШУМА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

А.М. Щелудяков
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия
Автор, ответственный за переписку: Алексей Михайлович Щелудяков, sam@pstu.ru

Аннотация. Проблема шумового загрязнения крупных городов не теряет актуальности с учетом развития новых типов подвижного состава и условий их эксплуатации (повышение интенсивности дорожного движения, средней скорости и пр.) Представленный подход позволяет инициализировать контроль шума в автоматизированном режиме с целью его последующего снижения.

Ключевые слова: автомобиль, транспортный поток, шум, контроль уровня шума, звуковой профиль автомобиля.

PROSPECTS FOR AUTOMATED CONTROL OF TRAFFIC NOISE LEVELS

A.M. Shcheludyakov
Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
Author responsible for correspondence: Alexey Mikhailovich Shcheludyakov, sam@pstu.ru

Abstract. The problem of noise pollution in large cities remains relevant, given the development of new types of rolling stock and the conditions of their operation (increased traffic intensity, average speed, etc.). The presented approach makes it possible to initiate noise control in an automated mode in order to subsequently reduce it.

Keywords: car, traffic flow, noise, noise level control, vehicle sound profile.

Шумовое загрязнение является одной из наиболее серьёзных экологических проблем современных городов, сопоставимой по масштабам негативного воздействия с загрязнением атмосферного воздуха. Всемирная организация здравоохранения относит шум к факторам, оказывающим доказанное вредное влияние на здоровье населения, и оценивает потерю здоровых лет жизни от шумового стресса в европейском регионе миллионами ежегодно [1,2].

Основным источником шума в городах выступает автомобильный транспорт. В мегаполисах на долю дорожного движения приходится до 70–85 % суммарной акустической энергии, излучаемой в окружающую среду. При этом шумовой режим городских территорий отличается выраженной временной и пространственной неоднородностью, стоит отметить, что факторами дорожного шума [3, 4, 5] являются интенсивность работающих двигателей, трансмиссии, движения транспортных потоков, геометрия дороги, процентная доля большегрузных транспортных средств, автомобильные сигналы, трение шин о дорогу, выпуск отработавших газов, аэродинамический шум и проч. Повышению уровня шума способствует эксплуатация тяжелых и высоко динамичных транспортных средств. Градиенты скорости ветра могут усиливать или ослаблять звуковое давление из–за изменения направления воздушных потоков при прохождении через деревья и растительность. Относительная влажность воздуха влияет на звуковые волны при передаче звука высокой частоты.

© Щелудяков А. М., 2026

Предварительные исследования [6, 7] показали, что для оценки уровня шума недостаточно проведение измерений его интенсивности, также необходимо учитывать звуковое давление и амплитудно–частотные характеристики такого шума, что в целом может сформировать подход к оценке такого шума и его контроля.

Развитие цифровых технологий, а также ориентация общества на участие в проектах с выраженным технологическим эффектом за счет увеличения решений и лиц, занятых в высокотехнологичном производстве, формирует новый результат для общества с явным социальным эффектом.

В общей компоновке, учитывая особенности типовых схем существует возможность построения системы мониторинга уровня шума с видео–идентификаций нахождения автомобилей в зоне детекции. Практическая реализация регистрации временных сигналов шума выполнена в порядке, представленном на рисунке 1.

Однако вопрос количества микрофонов (наличия микрофонной решетки), их направленность, высота установки и прочие особенности требуют детализации при проектировании каждого элемента автоматизированной системы. Результаты временных сигналов уровня шума представлены с учетом следующего расположения регистрирующего оборудования (рисунок 2).



Рисунок 1 – Схема регистрации временных сигналов шума

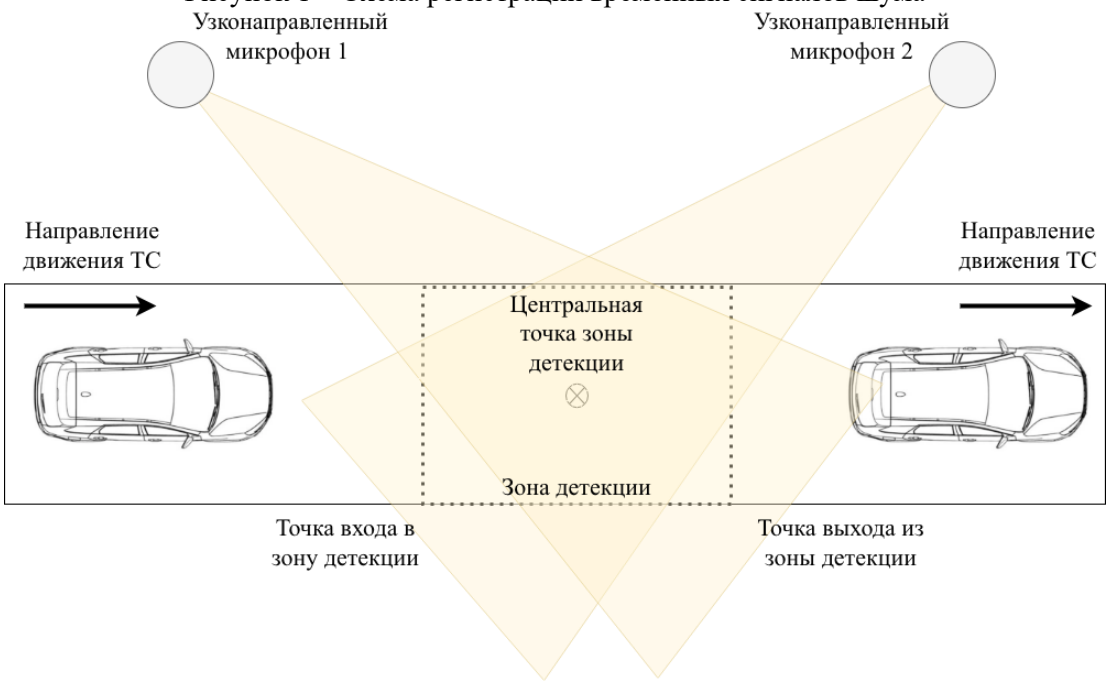


Рисунок 2 – Схема проезда автомобиля в зоне детекции шума.

Таким образом, на основании предварительных результатов исследования, возможность контроля уровня шума транспортных потоков с помощью автоматизированных систем подтверждается. Кроме того, это направление является актуальным и способствует уменьшению вероятности появления в зоне детекции транспортных средств с повышенным уровнем шума. Отечественные и зарубежные исследования по данной тематике подтверждают снижение шумового загрязнения при появлении систем автоматизированного контроля уровня шума. Кроме этого, обработка полученных результатов даже регрессионными моделями способна оценивать и прогнозировать уровень шума для локальных территорий и объектов инфраструктуры города. Модели прогнозирования более высокого уровня позволяют получить новые результаты и учесть их не только при проектировании новых транспортных объектов, но и особенности распространения акустических волн с учетом их отражения, наложения, фазовых характеристик и пр. Автоматизированные системы, работающие в условиях реального времени позволяют снизить трудоемкость операций по такому контролю, а главное – возможности корректировки движения транспортных потоков на основании текущих данных уровня шума, что в свою очередь позволяет уменьшить риск здоровья населению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang H., Sun J., Lin J. Collaborative mechanism of road traffic exhaust and noise emission: a cellular transmission model based approach // Air Qual Atmos Health. – 2026. – Vol. 19. – 40. – DOI: 10.1007/s11869–026–01914–9.
2. Ушаков И.Б. Воздействие городского автотранспортного шума с оценкой риска здоровью населения / И.Б. Ушаков, О.В. Клепиков, В.И. Попов [и др.] // Гигиена и санитария. − 2017. − Т. 96 (9). – С. 904–908. – DOI: 10.18821/0016–9900–2017–96–9–904–909.
3. Ahmad A. Comparison of Traffic Noise Attribute Factors and Noise Level Assessment Between Residential and Industrial Areas / A. Ahmad, R.A. Maharani, M. Muhammad [et al.] // Paper Asia. – 2025. – No. 41(3b). – Pp. 245–257. – DOI: 10.59953/paperasia.v41i3b.489.
4. Kumar K., Parida M., Katiyar V.K. Road Traffic Noise Prediction with Neural Networks – A Review // International Journal of Optimization and Control: Theories and Applications. – 2012. – Vol.2. – No l. – Pp. 29–37.
5. Salameh B., Imam R. Developing Roadway Traffic Noise Prediction Models for the City of Amman // Journal of American Science. – 2014. – Vol. 10(2s). – Pp. 23–30.
6. Щелудяков А.М., Бояршинов М.Г. Аудио–идентификация транспортного средства // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-3 (89). – С. 45–54.
7. Щелудяков А.М., Бояршинов М.Г. Шум автомобильного транспорта, управление аудио–идентификацией автомобилей в транспортных потоках // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XX Международной научно–практической конференции / под ред. В.И. Рассохи; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2025. – С. 428–437.

REFERENCES

1. Wang H., Sun J., Lin J. Collaborative mechanism of road traffic exhaust and noise emission: a cellular transmission model based approach. Air Qual Atmos Health. 2026;19:40. DOI: 10.1007/s11869–026–01914–9.
2. Ushakov I.B., Klepikov O.V., Popov V.I. [et al.]. Vozdeistvie gorodskogo avtotransportnogo shuma s otsenkoi riska zdorov'yu naseleniya [Impact of urban road traffic noise with public health risk assessment]. Gigiena i sanitariya. 2017;96(9):904–908. DOI: 10.18821/0016–9900–2017–96–9–904–909. (In Russ.)
3. Ahmad A., Maharani R.A., Muhammad M. [et al.]. Comparison of Traffic Noise Attribute Factors and Noise Level Assessment Between Residential and Industrial Areas. Paper Asia. 2025;41(3b):245–257. DOI: 10.59953/paperasia.v41i3b.489.

4. Kumar K., Parida M., Katiyar V.K. Road Traffic Noise Prediction with Neural Networks – A Review. International Journal of Optimization and Control: Theories and Applications. 2012;2(1):29–37.

5. Salameh B., Imam R. Developing Roadway Traffic Noise Prediction Models for the City of Amman. Journal of American Science. 2014;10(2s):23–30.

6. Shcheludyakov A.M., Boyarshinov M.G. Audio–identifikatsiya transportnogo sredstva [Audio identification of a vehicle]. Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025;(2–3(89)):45–54. (In Russ.)

7. Shcheludyakov A.M., Boyarshinov M.G. Shum avtomobil'nogo transporta, upravlenie audio–identifikatsiei avtomobilei v transportnykh potokakh [Road traffic noise, management of audio identification of cars in traffic flows]. In: Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XX Mezhdunarodnoi nauchno–prakticheskoi konferentsii. Orenburg: OGU; 2025. P. 428–437. (In Russ.)

Секция 5 Энергоэффективные технические решения для автомобильного транспорта

DOI: 10.58168/DPIITT2026_157-160
УДК 536.8

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В РАДИАТОРАХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС

С.Л. Панченко[1], С.А. Толстов[1], М.С. Хрипченко[1], П.К. Бодаченко[1], А.Е. Мазуров[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор, ответственный за переписку: Сергей Леонидович Панченко: psl84@mail.ru

Аннотация: В статье обоснована актуальность интенсификации процесса теплообмена в системах охлаждения двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены способы интенсификации процесса теплообмена, такие как оснащение теплообменных труб поперечной кольцевой накаткой и применение труб овального сечения.

Ключевые слова: система охлаждения, процесс теплообмена, интенсификация, теплообменные трубы, поперечная кольцевая накатка, трубs овального сечения.

INTENSIFICATION OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN THE RADIATORS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE COOLING SYSTEMS

S.L. Panchenko[1], S.A. Tolstov[1], M.S. Khripchenko[1], P.K. Bodachenko[1], A.E. Mazurov[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Sergey Leonidovich Panchenko: psl84@mail.ru

Abstract. This article substantiates the importance of heat exchange process intensifying in internal combustion engine cooling systems. Methods for intensifying are discussed, such as equipping heat exchange tubes with transverse annular knurling and using oval tubes.

Keywords: cooling system, heat exchange process, intensify, heat exchange tubes, transverse annular knurling, oval tubes.

В настоящее время задачи любого транспорта, будь он воздушным, водным, наземным и т.д., постоянно совершенствуются. С развитием экономики, увеличением товарооборота растут объемы грузо– и пассажироперевозок. В то же время использование транспорта должно быть экономичным (по расходу топлива и т.д.). В данных условиях необходимо увеличение мощности двигателя без возрастания затрат. Двигатели, приводимые транспорт в движение, являются тепловыми и работают в соответствии с термодинамическими циклами. Как известно, энергетические характеристики двигателя (мощность, крутящий момент) зависят от температуры в камере сгорания после подвода теплоты к рабочему телу, применительно к ДВС наземных транспортных средств это температура после сгорания топлива, перед рабочим ходом. Из термодинамики известно [1], что потенциальная энергия газов (энтальпия), превращаемая в такте рабочего хода в механическую работу на валу, напрямую зависит от данной температуры:

© Панченко С. Л., Толстов С. А., Хрипченко М. С., Бодаченко П. К., Мазуров А. Е., 2026

$$i = c_p T_З, \quad (1)$$

где i – удельная энтальпия газов, Дж/кг;

$c_р$ – их удельная изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$T_З$ – термодинамическая температура в камере сгорания после воспламенения рабочей смеси, перед тактом рабочего хода (на графических изображениях термодинамического цикла работы двигателя обозначается индексом «3»).

Таким образом, из выражения (1) видно, что энтальпия, а значит и энергия которой обладают газы, прямо пропорциональна значению температуры. Но поскольку данная энергия превращается в механическую работу на валу двигателя, это означает то, что чем больше данная температура, тем больше и работа, мощность и крутящий момент. Поэтому увеличение мощности возможно за счет роста данной температуры, а также степени сжатия (при ее увеличении температура тоже растет), а при одной и той же мощности рост данных параметров обеспечивает снижение массы и материалоемкости двигателя. Это относится ко всем тепловым двигателям, в том числе и к поршневым ДВС, применяемым в автомобильной технике.

Однако рост температуры газов в камере сгорания приводит к увеличению температурных нагрузок на детали ДВС, что при отсутствии необходимого охлаждения может привести к выходу его из строя. Поэтому при увеличении тепловой нагрузки необходимо совершенствовать и процесс охлаждения, интенсифицировать его с целью достаточного отвода тепла от деталей двигателя.

В поршневых ДВС используются жидкостные системы охлаждения с воздухо–жидкостными теплообменными аппаратами – основным и отопителя салона. Именно в радиаторах происходит отвод теплоты от охлаждающей жидкости к воздуху, поэтому интенсификация процесса теплопередачи между жидкостью и воздухом в них приводит к росту величины снижения температуры охлаждающей жидкости, а значит и деталей двигателя.

Одним из способов интенсификации теплообмена, который может быть применен – оснащение теплообменных труб радиатора поперечной кольцевой накаткой (рис. 1). Схема поперечной кольцевой накатки в теплообменной трубе приведена на рис. 1 [2, 3].

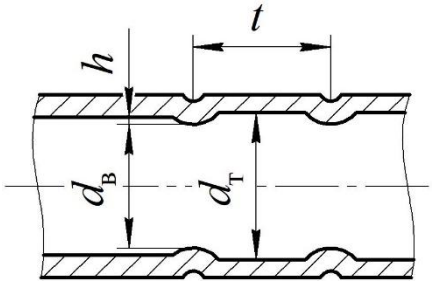


Рисунок 1 – Поперечная кольцевая накатка в теплообменной трубе

Figure 1 – Transverse annular knurling in heat exchange tube

Изготовление данной накатки наименее трудоемко, поскольку ее можно получить на обычном токарно–винторезном станке с помощью накатного ролика. При этом с определенным шагом t внутри трубы образуются кольцеобразные выступы высотой h, а снаружи – кольцеобразные впадины. При этом внутренний диаметр трубы $d_т$ в местах расположения выступов уменьшается до размера $d_в$. (см. рисунок 1). Диаметр $d_в$ – это диаметр в месте выступов накатки, равен диаметру воображаемого цилиндра, касательного к наиболее удаленным от стенки трубы поверхностям выступов. Интенсификация процесса теплоотдачи от стенки трубы теплоносителю при этом происходит за счет турбулизации движения теплоносителя, прежде всего, в пограничном слое: выступы разрушают подслой у стенки трубы, в котором преобладает ламинарное движение. Доказано

[3], что степень увеличения коэффициента теплоотдачи зависит от геометрических параметров накатки (t, h, $d_в$).

Исследования и расчеты на теплообменных аппаратах, применяемых в системах охлаждения авиационных двигателей, с трубами таких же размеров, что и на радиаторах ДВС, показали, что применение поперечной кольцевой накатки, особенно с относительным шагом, равным единице (когда шаг накатки t равен внутреннему диаметру трубы в месте выступов $d_в$) и высоте выступов $h \approx 0{,}05d_т$, приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи внутри трубы в 4…5 раз [4]. Для радиаторов ДВС автомобильной техники для определения данного эффекта требуются отдельные расчеты, однако в любом случае применение данной накатки (в основном радиаторе или используемом для отопления) приведет к росту коэффициента теплоотдачи и теплопередачи, т.е. интенсификации процесса. Кроме того, при сохранении одной и той же температуры охлаждающей жидкости применение данной накатки позволит убрать или значительно сократить оребрение радиатора между трубами (соты), которые, как известно, сильно подвержены загрязнению, что очень плохо сказывается на процессе теплопередачи. Схема модели радиатора с применением труб, оснащенных поперечной кольцевой накаткой, приведена на рисунке 2.

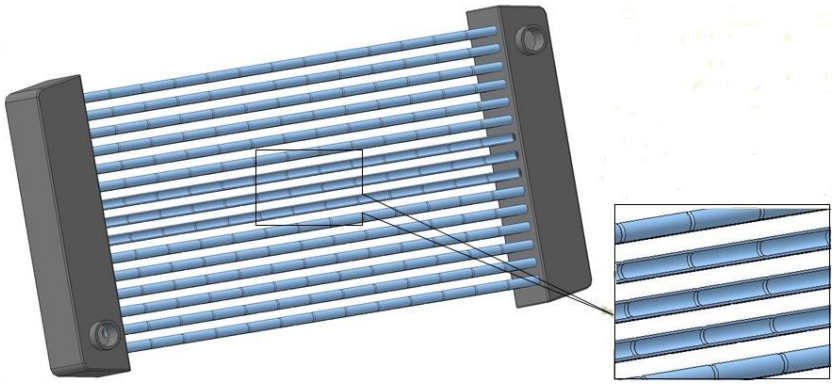


Рисунок 2 – – 3D–модель радиатора системы охлаждения ДВС с применением теплообменных трубок, оснащенных поперечно–кольцевой накаткой
Figure 2 – 3D–model of internal combustion engine cooling system radiator with using heat exchange tube equipped with transverse annular knurling

Другим способом интенсификации теплообмена является применение теплообменных труб не круглого, а овального эллиптического (овального) сечения (рисунок 3).

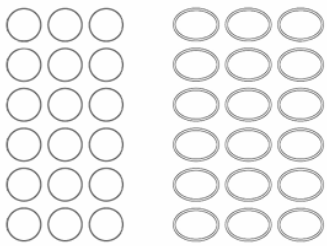


Рисунок 3 – Схема расположения теплообменных труб круглого и овального сечения
Figure 3 – Layout of round and oval heat exchange tubes

Исследования и расчеты, проведенные на теплообменниках, используемых в авиационных двигателях, с трубками внутренним диаметром 5 мм, показали, что при расположении трубок, показанном на рис., использование трубок не круглого, а эллиптического (овального) сечения, при прочих равных условиях снижает температуру охлаждаемой среды внутри трубок примерно на 100 °С, (при размерах большой оси

эллипса 6,3 мм, малой – 4 мм). При еще большей разности между размерами большой и малой осей эллиптического сечения трубок значение снижения данной температуры еще более увеличивается [5]. Трубы радиаторов отопителей, используемые в автомобильных ДВС, примерно такие же по внутреннему диаметру, и в большинстве случев расположены аналогичными пучками, поэтому эффект использования труб овального сечения позволит интенсифицировать нагрев салонного воздуха, одновременно снизив температуру охлаждающей жидкости, что для современных теплонагруженных двигателей. Значение величины данного эффекта как по температуре, так и по коэффициенту теплопередачи, требует отдельных исследований и расчетов.

Таким образом, применение поперечной кольцевой накатки в теплообменных трубах радиаторов систем охлаждения ДВС или установка в них труб овального сечения позволит интенсифицировать процесс теплообмена, улучшив охлаждение теплонагруженного двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплотехника: учеб. для вузов / В. Н. Луканин [и др.]; под ред. В. Н. Луканина. – 2–е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2000. – 671 с.

2. Лаптев, А.Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов / А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев, М.М. Башаров. – Москва: «Теплотехник», 2011. – 335 с.

3. Белозерцев В.Н. Интенсификация теплообмена: учебное пособие / В.Н. Белозерцев, В.В. Бирюк, А.И. Довгялло [и др.]. – Самара: Издательство Самарского университета, 2018. – 208 с.

4. Панченко, С. Л. Интенсификация процесса теплоотдачи в трубах авиационного топливомасляного теплообменника / С. Л. Панченко, С. А. Толстов // Физические основы наукоемких технологий в современном мире: материалы Всероссийской научнометодической конференции с международным участием, посвящённой 80–летию со дня рождения профессора В. В. Постникова, приуроченной к 95–летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 15 апреля 2025 г. / отв. ред. Н.Ю. Евсикова, С.В. Внукова; М–во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2025. – С. 127–135.

5. Нестеренко В.Г. Воздухо–воздушные теплообменники системы охлаждения ротора турбины высокого давления в современных авиационных турбореактивных двухконтурных двигателях / В.Г. Нестеренко, Р.Р. Аббаварам // Инженерный журнал: наука и инновации, 2018, вып. 11. URL: http://dx.doi.org/10.18698/2308–6033–2018–11–1827 (дата обращения 14.09.2026).

REFERENCES

1. Heating engineering: higher education textbook / V. N. Lukanin [et al.]; ed. V. N. Lukanin. – 2nd ed., revised – Moscow.: Higher School Publishers, 2000. – 671 p.

2. Laptev, A.G. Methods of intensification and modeling of heat mass transfer processes / A.G. Laptev, N.A. Nikolaev, M.M. Basharov. – Moscow: «Heating engineer», 2011. – 335 p.

3. Belozertsev, V.N. Heat transfer intensification: training manual / V.N. Belozertsev, V.V. Biryuk, A.I. Dovgyallo [et al.]. – Samara: Samara University Publ., 2018. – 208 p.

4. Panchenko, S. L. Heat transfer process intensification in aircraft oil–fuel heat exchange tubes / S. L. Panchenko, S. A. Tolstov // Physical basis of science–intensive technologies in the modern world Proceedings of the All–Russian Scientific and Methodological Conference with International Participation, dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor V.V. Postnikov, timed to the 95th anniversary of VSUFT named after G.F. Morozov Voronezh, April 15, 2025 / resp. ed. N.Yu. Evsikova, S.V. Vnukova; Ministry of science and high education of Russian Federation, FSBEI HE «VSUFT». – Voronezh, 2025. – P. 127–135.

5. Nesterenko, V.G. Air–to–air heat exchanges of rotor of high pressure turbine cooling system in modern aircraft engines / V.G. Nesterenko, R.R. Abbavaram // Engeneering journal: science and innovations, 2018, no 11. URL: http://dx.doi.org/10.18698/2308–6033–2018–11–1827 (accessed 14.09.2026).

DOI: 10.58168/DPIITT2026_161-167
УДК 614.841:621.355:629.331

ОЦЕНКА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОВОГО РАЗГОНА ТЯГОВОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Е.А. Логунова[1], Д.В. Каргашилов[1]
[1]Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия
elogunova@cchgeu.ru, kargashil@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены диагностические признаки, применяемые для выявления опасного изменения состояния тяговой литий–ионной аккумуляторной батареи электромобиля. Цель исследования заключается в оценке того, какую информацию дают температура, скорость её роста, пространственная неравномерность нагрева, электрические и газовые сигналы. Проведена вторичная обработка открытых температурных записей двух разрушительных испытаний батарейных модулей. Сравнивались одинаковые пороговые условия с обязательным сохранением признака в течение десяти секунд на одной физической ячейке. Установлено, что увеличение порога скорости нагрева существенно задерживает предупреждение и может изменять номер ячейки, которая первой формирует сигнал. При пороге 0,2 °C/c в свежем модуле первой была определена ячейка 1, в состаренном – ячейка 4, хотя нагрев инициировался на ячейке 1. Совместное использование температурного отделения и избыточной скорости нагрева в рассмотренных записях указало на инициирующую ячейку, однако не обеспечило одинакового выигрыша по времени. Обосновано разделение задач обнаружения тепловой аномалии и подтверждения развития аварийного процесса. Полученные результаты характеризуют выбранные испытания с внешним нагревом и не определяют вероятность ложных предупреждений при штатной эксплуатации.

Ключевые слова: электромобиль, тяговая батарея, литий–ионный аккумулятор, тепловой разгон, диагностические признаки, пожарная безопасность.

ASSESSMENT OF DIAGNOSTIC INDICATORS OF THE DEVELOPMENT OF THERMAL RUNAWAY IN THE TRACTION BATTERY OF AN ELECTRIC VEHICLE

E.A. Logunova[1], D.V. Kargashilov[1]
[1]Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
elogunova@cchgeu.ru, kargashil@mail.ru

Abstract. The diagnostic indicators used to detect dangerous changes in the condition of an electric vehicle’s traction lithium-ion battery are examined. The aim of the study is to assess what information is provided by temperature, the rate of its increase, spatial unevenness of heating, and electrical and gas signals. Secondary processing was carried out on open temperature records from two destructive tests of battery modules. Identical threshold conditions were compared, with the requirement that the indicator be maintained for ten seconds on a single physical cell. It was found that increasing the threshold for the heating rate significantly delays the warning and may change the cell number that first generates the signal. At a threshold of 0.2 °C/s, cell 1 was identified first in the fresh module, and cell 4 in the aged module, although heating was initiated at cell 1. The combined use of temperature separation and excessive heating rate in the recorded data indicated the initiating cell, but did not provide the same time savings. The separation of the tasks of detecting a thermal anomaly and confirming the development of an emergency process is justified. The obtained results characterize the selected tests with external heating and do not determine the probability of false alarms during normal operation.
Keywords: electric vehicle, traction battery, lithium-ion battery, thermal runaway, diagnostic signs, fire safety.

© Логунова Е. А., Каргашилов Д. В., 2026

Введение

Пожарная безопасность электромобиля во многом зависит от своевременного обнаружения опасного изменения состояния тяговой аккумуляторной батареи. Развитие повреждения внутри батарейного блока затрудняет доступ к очагу, а передача тепла соседним ячейкам увеличивает масштаб аварии. Поэтому мониторинг батареи необходимо рассматривать как часть системы предупреждения пожара наряду с конструктивной защитой и средствами ограничения его распространения [1]. При этом сам факт превышения температурного порога ещё не объясняет причину нагрева.

Тепловой разгон связан с ускорением экзотермических реакций внутри ячейки, когда выделение тепла превышает возможности его отвода [2]. На практике система управления батареей, или BMS (Battery Management System), измеряет преимущественно доступные внешние параметры. Между внутренним процессом и показанием датчика существует тепловая и измерительная задержка. Цель данной работы – сопоставить диагностический смысл основных признаков и оценить влияние выбора температурного критерия на время предупреждения и локализацию опасного воздействия.

Физический смысл диагностических признаков

Для отдельной ячейки тепловой баланс в сосредоточенном приближении можно представить выражением (1):

$$C_j \frac{dT_j}{dt} = P_{\text{эл,j}} + P_{\text{внеш,j}} + P_{\text{реакц,j}} - Q_{\text{отв,j}} \quad (1)$$

где теплоёмкость ячейки С измеряется в Дж/К; слагаемые правой части характеризуют электрическое тепловыделение, внешнее тепловое воздействие, теплоту внутренних реакций и мощность теплоотвода, Вт. Следовательно, одинаковая скорость изменения температуры может быть вызвана различными причинами. Это ограничивает специфичность одного температурного канала при выявлении именно теплового разгона.

Дополнительную информацию дают изменения напряжения и импеданса, газовыделение, давление и механическая деформация. В экспериментальных работах электрические и газовые измерения используются совместно [3], а одновременная регистрация внутренней температуры и давления позволяет сопоставлять разные стадии повреждения ячейки [4]. Для больших батарейных сборок также применяются методы обнаружения отклонений по совокупности температурных и электрических каналов [5]. Возможности и ограничения признаков обобщены в табл. 1.

Таблица 1 – Диагностическое значение контролируемых признаков

Table 1 – Diagnostic significance of the monitored characteristics

Признак	Выявляемое изменение	Основное ограничение
Температура	Накопленный тепловой эффект	Зависит от расположения датчика и внешнего нагрева
Скорость нагрева	Быстрое изменение теплового режима	Чувствительна к шуму и переключению нагрузки
Неравномерность нагрева	Температурное отделение ячейки	Возникает также при неодинаковом охлаждении
Напряжение и импеданс	Изменение электрического состояния	Требует учёта тока, заряда и старения
Газы и давление	Разложение компонентов и выход газов	Зависит от герметичности и пути переноса газа
Деформация и усилие	Накопление газа и изменение корпуса	Зависит от прижатия ячеек и конструкции модуля

Материалы и методы

Исследуется модуль из четырёх пакетных никель–марганец–кобальтовых ячеек (NMC). Нагрев инициировался на ячейке 1; состояние здоровья SOH (State of Health) составляло 100 и 76 %. Распределение пятнадцати термопар между ячейками было неодинаковым: 6, 3, 2 и 4 датчика соответственно. Рассматриваются испытания с внешним тепловым воздействием, а не эксплуатационные случаи самопроизвольного повреждения.

В исходных файлах столбец ms циклически повторяет значения 0, 200, 400, 600 и 800. Поэтому непрерывное время восстановлено по порядку отсчётов с шагом 0,2 с после проверки отсутствия нарушений этого цикла. Начало отсчёта соответствует первой строке температурной записи. Данные усилия не объединялись с температурой: точное взаимное начало двух записей не задано в доступных файлах. По этой причине запас времени до сброса газов здесь не рассчитывался.

Чтобы ячейка с большим числом датчиков не имела повышенного веса, сначала рассчитывалась её представительная температура по формуле (2):

$$T_j^*(k) \;=\; \mathrm{med}_{r\,=\,1,\ldots,m_j}\big(T_{j,r}(k)\big) \tag{2}$$

где m – число термопар на ячейке; k – номер отсчёта. Медиана уменьшает влияние одиночных выбросов, однако для двух показаний совпадает со средним и не защищает от отказа одного датчика. Независимый контроль максимальной температуры отдельных датчиков сохраняется.

Скорость нагрева определялась по формуле (3) через разность температур на интервале десять секунд:

$$g_j(k) \;=\; \frac{T_j^*(k) - T_j^*(k-L)}{L\Delta t};\quad L \;=\; 50,\;\; \Delta t \;=\; 0{,}2\ \text{с}. \tag{3}$$

Дополнительно рассчитывались температурное отделение и избыточная скорость относительно текущей медианы четырёх ячеек по формулам (4) и (5):

$$\delta T_j(k) \;=\; T_j^*(k) \;-\; \mathrm{med}_{\ell}(T_{\ell}^*(k)) \tag{4}$$

$$\delta g_j(k) \;=\; g_j(k) \;-\; \mathrm{med}_{\ell}(g_{\ell}(k)) \tag{5}$$

Сравнивались пороги $T_j^* \;>\; 80\,^{\circ}\text{C}$, $T_j^* \;>\; 100\,^{\circ}\text{C}$, $g_j \;>\; 0{,}2\,^{\circ}\text{C/c}$ и совместный признак (6):

$$A_j(k) \;=\; \big[\delta T_j(k) \;>\; 5\ \text{K}\big] \;\wedge\; \big[\delta g_j(k) \;>\; 0{,}03\,^{\circ}\text{C/c}\big] \tag{6}$$

В каждом случае предупреждение фиксировалось только после непрерывного выполнения условия на одной и той же ячейке в течение 10 с, то есть на 51 последовательном отсчёте. Момент предупреждения соответствует концу выдержки; номер ячейки определяется по первому устойчивому превышению. Пороги заданы одинаково для обоих испытаний для сопоставления признаков. Они не являются паспортными ограничениями батареи и не подбирались для получения раннего срабатывания.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 показано изменение представительных температур до резкого высокотемпературного подъёма. Ячейка 1 постепенно отделяется от остальных, однако степень её отделения и скорость изменения температуры различаются в двух испытаниях. Поэтому одинаковое пороговое значение не соответствует одинаковой стадии процесса.

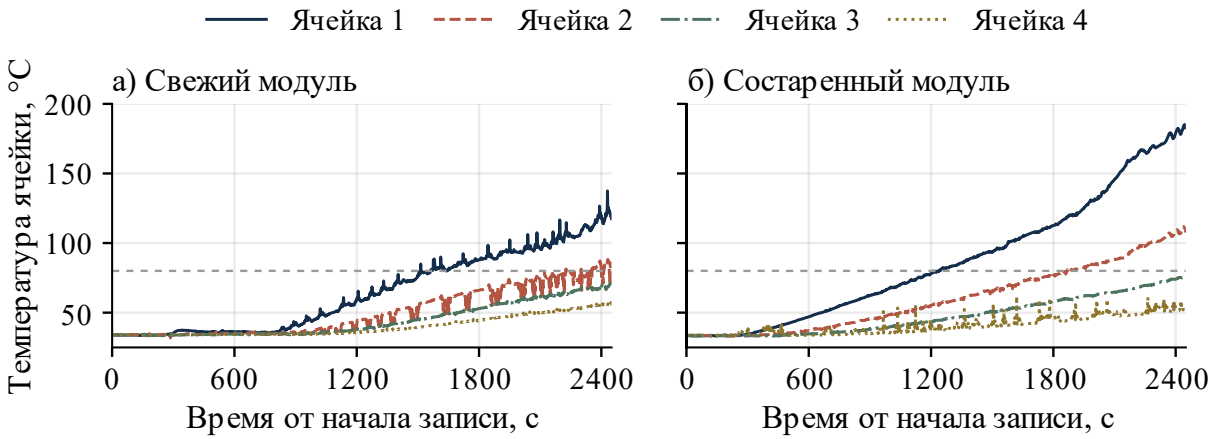


Рис. 1. Температуры ячеек: а – свежий модуль; б – состаренный; пунктир – 80 °C

В табл. 2 время первого устойчивого предупреждения округлено до 1 с, температура определённой ячейки – до 0,1 °C. Дискретность записи не следует отождествлять с точностью измерения.

Таблица 2 – Первое устойчивое предупреждение по температурным записям
Table 2 – First stable warning based on temperature records

Условие	**Свежий время, с / ячейка**	**Свежий T*, °C**	**Состаренный время, с / ячейка**	**После старения T*, °C**
$T_j^* > 80\ °C$	1573 / 1	80,6	1251 / 1	81,2
$T_j^* > 100\ °C$	2177 / 1	100,3	1588 / 1	101,2
$g_j > 0{,}2\ °C/c$	1126 / 1	55,3	1620 / 4	61,8
Совместный признак (6)	953 / 1	48,0	1578 / 1	100,2

Порог 80 °C первым указал на инициирующую ячейку в обеих записях. Повышение температурного порога до 100 °C задержало предупреждение на 604 с в свежем и на 337 с в состаренном модуле. Это характеризует влияние настройки на выбранные записи, но не доказывает преимущество низкого порога при эксплуатации: нагрев до 80 °C может быть следствием внешнего воздействия или неисправности охлаждения, без установления конкретного механизма повреждения.

Критерий скорости 0,2 °C/c в свежем модуле сработал при 55,3 °C на ячейке 1. В состаренном модуле первой была определена ячейка 4 при её представительной температуре 61,8 °C. Таким образом, наиболее быстро изменяющаяся температура не всегда принадлежит ячейке, на которой инициировано воздействие. Срабатывание может отражать вторичный нагрев или искажение измерений; доступные записи не позволяют разделить эти причины. По одному сигналу скорости нельзя установить происхождение теплового возмущения.

Совместный признак (6) в обеих записях указал на ячейку 1. Однако в свежем модуле он сработал раньше порога 80 °C на 620 с, а в состаренном – позже на 327 с. Сочетание признаков улучшило соответствие локализации месту внешнего нагрева при выбранной настройке, но не обеспечило одинакового выигрыша по времени. Это не позволяет рекомендовать его как универсально более ранний критерий.

Чувствительность к порогу скорости показана на рис. 2. При увеличении порога до 0,4 °C/c первое устойчивое предупреждение формировалось уже при представительной температуре 751,4 °C в свежем и 736,5 °C в состаренном модуле. Такие значения

соответствуют интенсивному развитию аварийного процесса и не дают оснований считать данную настройку ранней. При промежуточных порогах изменялся и номер первой сработавшей ячейки.

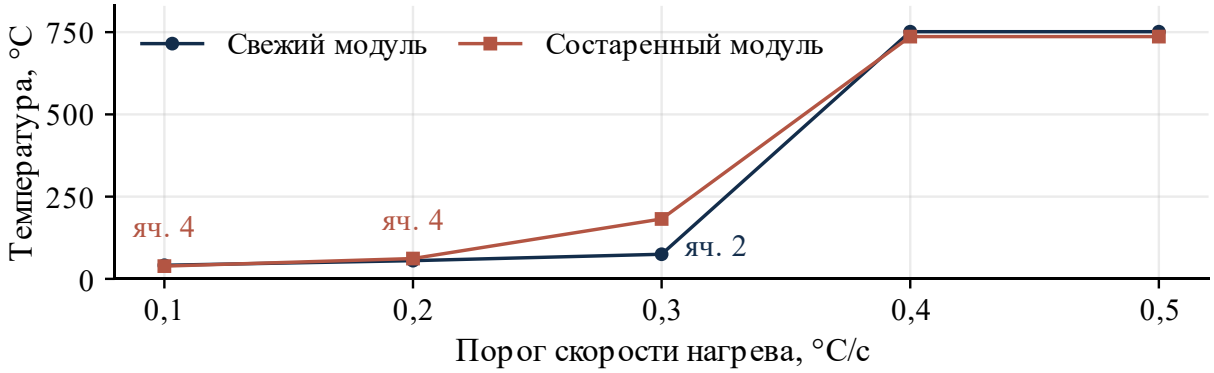


Рис. 2. Температуры предупреждения; подписаны ячейки, отличные от ячейки 1

Практический смысл результатов заключается в разделении уровней диагностики. Температурные признаки позволяют обнаружить ненормальный тепловой режим и определить область, которая требует дополнительной проверки. Подтверждение разложения компонентов ячейки требует сопоставления с электрическими или газовыми измерениями. Газовый сигнал содержит информацию о выделении продуктов разложения [7], но его появление у датчика зависит от места выхода газа, вентиляции и герметичности отсека. Аналогично изменение усилия в пакетном модуле определяется не только внутренним давлением, но и условиями прижатия ячеек.

Порог абсолютной температуры при этом следует сохранять как самостоятельный защитный канал. При нагреве большинства ячеек медианное отклонение может уменьшаться, хотя общий уровень температуры продолжает расти. В системе предупреждения важно учитывать и относительное отличие ячеек, и допустимый тепловой режим всей батареи. Отключение внешнего электрического питания ограничивает дальнейшее электрическое воздействие, но не прекращает уже развившиеся внутренние экзотермические реакции.

Исследование ограничено двумя разрушающими испытаниями одного типа модуля. По ним нельзя определить частоту ложных предупреждений, чувствительность к внутреннему короткому замыканию или универсальный эффект старения. Для оценки специфичности необходимы штатные режимы зарядки и движения. Например, открытый набор de la Vega Hernández et al. включает 410 циклов и 72 температурных канала батареи из 36 ячеек [8]. В данной работе эти записи не обрабатывались. Пороговые значения требуют отдельной проверки при изменении химического состава, размещения датчиков и конструкции охлаждения.

Заключение

Проведённое сопоставление показывает, что диагностические признаки необходимо оценивать по информации о физическом процессе, времени предупреждения и возможности локализации. На двух открытых температурных записях одинаковый порог скорости нагрева дал различный порядок срабатывания ячеек. Совместное использование температурного отделения и избыточной скорости в обоих случаях указало на инициирующую ячейку, однако в состаренном модуле уступило по времени порогу 80 °C. Повышение порога скорости до 0,4 °C/c перенесло предупреждение в высокотемпературную стадию.

Для тяговой батареи электромобиля обосновано сочетание независимого контроля максимальной температуры с анализом относительных изменений между ячейками и подтверждающими измерениями. Первичное тепловое предупреждение должно инициировать проверку состояния и предусмотренные конструкцией защитные действия. Окончательная настройка требует испытаний на штатных и аварийных режимах; выявленные различия двух записей сами по себе не подтверждают причинную связь между старением и эффективностью конкретного критерия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логунова Е.А., Жидких Н.С., Каргашилов Д.В. Концепции систем обеспечения пожарной безопасности строительной техники с электроприводом на литий–ионных аккумуляторах // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте. Воронеж: ВГЛТУ, 2024. С. 151–155. DOI: 10.58168/DPIITT2024_151–155.

2. Логунова Е. А., Каргашилов Д. В., Жидких Н. С., Чуйков А. М. Противопожарные одеяла и зарядные станции: опыт Formula E для городских паркингов // Гражданская оборона и природно–технические системы: сборник статей по материалам XXII научно–практической конференции. Воронеж, 2026. С. 119–122.

3. Жидких Н. С., Андрейкин А. А., Логунова Е. А. Применение принципов устройства оборудования для симрейсинга в конструкции органов управления гоночным автомобилем класса «Формула Студент» // Высокие технологии в строительном комплексе. 2026. № 1. С. 117–122.

4. Логунова Е. А., Каргашилов Д. В. Оценка факторов опасности при пожарах электрических транспортных средств в условиях закрытых автостоянок и паркингов // Высокие технологии в строительном комплексе. 2026. № 1. С. 201–204.

5. Логунова Е. А., Каргашилов Д. В. Анализ рисков возникновения пожаров в аккумуляторных батареях строительной электротехники // Научная опора Воронежской области: сборник трудов победителей конкурса научно–исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2025. С. 33–35.

6. Логунова Е. А., Каргашилов Д. В., Жидких Н. С. Анализ экологической и пожарной безопасности электромобилей на протяжении всего жизненного цикла // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2025. № 2(33). С. 100–107.

7. Жидких Н. С., Логунова Е. А., Андрейкин А. А. Уточнение условий измерения твердости протектора пневматической шины гоночного автомобиля класса «Формула Студент» // Высокие технологии в строительном комплексе. 2025. № 2. С. 140–143.

8. Логунова Е. А., Каргашилов Д. В. Пожарная безопасность электробусов в России: проблемы эксплуатации и лучшие международные практики // Высокие технологии в строительном комплексе. 2025. № 2. С. 144–147.

REFERENCES

1. Logunova E.A., Zhidkikh N.S., Kargashilov D.V. Concepts of fire safety systems for construction equipment with electric drives powered by lithium-ion batteries // Development prospects, innovations and information technologies in transport. Voronezh: Voronezh State Forest University, 2024. Pp. 151–155. DOI: 10.58168/DPIITT2024_151–155.

2. Logunova E. A., Kargashilov D. V., Zhidkikh N. S., Chuykov A. M. Fire-resistant blankets and charging stations: Formula E experience for urban parking lots // Civil defence and natural-technical systems: a collection of articles based on the materials of the 22nd scientific and practical conference. Voronezh, 2026. Pp. 119–122.

3. Zhidkikh N. S., Andreykin A. A., Logunova E. A. Application of the principles of equipment design for simracing in the design of control systems for a racing car of the “Formula Student” class // High Technologies in the Construction Sector. 2026. No. 1. Pp. 117–122.

4. Logunova E. A., Kargashilov D. V. Assessment of hazard factors in fires involving electric vehicles in enclosed parking lots and garages // High Technologies in the Construction Sector. 2026. No. 1. Pp. 201–204.

5. Logunova E. A., Kargashilov D. V. Analysis of fire risk factors in battery systems used in construction electrical engineering // Scientific Support of the Voronezh Region: collection of works by the winners of the competition of research papers by students and postgraduates of Voronezh State Technical University in priority areas of science and technology development. Voronezh, 2025. Pp. 33–35.

6. Logunova E. A., Kargashilov D. V., Zhidkikh N. S. Analysis of the environmental and fire safety of electric vehicles throughout their entire life cycle // Housing and Communal Infrastructure. 2025. No. 2(33). Pp. 100–107.

7. Zhidkikh N. S., Logunova E. A., Andreykin A. A. Clarification of the conditions for measuring the tread hardness of a pneumatic tire for a racing car of the “Formula Student” class // High Technologies in the Construction Sector. 2025. No. 2. Pp. 140–143.

8. Logunova E. A., Kargashilov D. V. Fire safety of electric buses in Russia: operational problems and best international practices // High technologies in the construction complex. 2025. No. 2. Pp. 144–147.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_168-172
УДК 662.769.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В.А. Морковин[1], Т.Н. Стородубцева[1], В.Р. Бучнев[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, tamara–tns@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы применения водорода в качестве альтернативного топлива для автомобилей. Актуальность темы связана с необходимостью снижения выбросов вредных веществ в атмосферу. Проанализированы преимущества и недостатки водородного топлива на разных этапах его производства и использования.

Ключевые слова: водород, автомобиль, выбросы, топливо, экология**.**

THE PROSPECTS FOR USING HYDROGEN AS A FUEL FOR ROAD TRANSPORT

V.A. Morkovin[1], T.N. Storodubtseva[1], V.R. Buchnev[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, tamara–tns@yandex.ru

Abstract. The article examines the prospects for using hydrogen as an alternative fuel for vehicles. The relevance of the topic is due to the need to reduce emissions of harmful substances and gases into the atmosphere. The advantages and disadvantages of hydrogen fuel at various stages of its production and use are analysed.

Keywords: hydrogen, car, emissions, fuel, ecology.

Автомобильный транспорт сегодня остаётся одним из ключевых элементов комфортной и повседневной жизни. Благодаря ему люди и грузы перемещаются между городами и внутри населённых пунктов. Однако широкое распространение автомобилей сопровождается загрязнением атмосферы и значительным расходом энергоресурсов – в первую очередь бензина и дизельного топлива. Зависимость транспорта от нефтепродуктов выявляет целый комплекс экологических и экономических проблем. Рост числа транспортных средств в мире лишь усиливает эти противоречия, заставляя специалистов искать новые подходы к организации мобильности.

Особенно остро вопрос стоит в крупных городах. Высокая концентрация автомобилей приводит к росту содержания токсичных веществ в воздухе. При работе двигателей внутреннего сгорания образуются оксиды углерода, оксиды азота, углеводороды и твёрдые частицы. Помимо этого, при сжигании топлива выделяется углекислый газ – один из основных парниковых газов. Накопление таких выбросов влияет не только на качество воздуха, но и на климатические процессы в целом. Поэтому поиск альтернатив традиционному топливу давно вышел за рамки чисто технических дискуссий и приобрёл социальное значение. В автомобильной отрасли ищут пути решения проблемы и вари-

© Морковин В. А., Стородубцева Т. Н., Бучнев В. Р., 2026

анты перехода на альтернативные источники энергии. Одним из перспективных направлений считается использование водорода. Этот элемент отличается малой атомной массой и высокой удельной теплотой сгорания, что делает его привлекательным топливом. Водород можно получать из разных источников и самыми разными способами. При правильных методах изготовления и потребления водорода, он может стать одной большой энергетически–экологичной цепью.

Водородные автомобили делят на две группы: автомобили, в которых водород применяется как основное топливо, и автомобили, в которых водород используется в качестве добавки к жидкому или газообразному топливу [1].

Водород можно применять в двигателях внутреннего сгорания. Смесь поступает в цилиндр, сжимается, воспламеняется, а полученная энергия идёт на поршни и коленчатый вал. В водороде нет углерода, поэтому при сгорании не образуется углекислый газ и сажа, что характерно для бензинового ДВС, но системы подачи топлива и смесеобразования при таком методе нужно переделывать. Также из–за высокой температуры в камере сгорания образуются оксиды азота, вследствие чего полностью экологически чистым данный метод назвать нельзя.

Другой вариант – топливные элементы. Водород здесь не сжигается в двигателе, а участвует в электрохимической реакции, в результате которой получается электрическая энергия. Такой метод имеет три основных элемента: анод, катод и мембрана. На аноде молекула водорода расщепляется на протоны и электроны. Протоны проходят через мембрану к катоду и соединяются с кислородом, образуя воду, а электроны идут по внешней цепи и создают ток для электродвигателя.

Топливные элементы дают высокий КПД, но они пока дорогие и тяжёлые, что ограничивает их применение. Мембраны, катализаторы и другие компоненты требуют сложных технологий и дорогих материалов, из–за этого растёт цена на сам автомобиль.

С экологической стороны водородный транспорт выглядит лучше. Выбросы вредных веществ снижаются, твёрдых частиц почти нет. Но полностью загрязнение не убирается – из–за высокой температуры горения образуются оксиды азота. В целом воздействие на окружающую среду меньше, чем у обычных автомобилей. Отличительным признаком и главным преимуществом транспортных средств, на которых применена данная технология, является то, что при работе они не производят вредных выбросов в атмосферу, а единственным побочным продуктом является водяной пар [2].

Есть и эксплуатационные преимущества. Электродвигатель от топливных элементов быстро развивает крутящий момент. Поскольку в самих топливных элементах нет движущихся частей, их отличает надёжность, долговечность и простота эксплуатации. КПД топливных элементов уже сейчас составляет 50–70 %, что намного больше, чем 10–15 % у ДВС [3].

В таблице 1 приведены примеры сравнения способов применения водорода в транспорте.

Несмотря на достоинства, перечисленные в таблице 1, массовое распространение водородного транспорта сдерживается целым рядом факторов. Одна из главных трудностей – проблема хранения/аккумулирования водорода является одной из ключевых проблем развития водородной энергетики [4].

Из–за низкой плотности его приходится либо сжимать до очень высоких давлений, либо переводить в жидкое состояние. Баллоны, способные выдерживать такие нагрузки, сложны в изготовлении и дороги.

Жидкий водород требует поддержания крайне низких температур, что также усложняет конструкцию и эксплуатацию систем хранения.

Таблица 1 – Сравнение способов применения водорода в автомобильном транспорте

Table 1 – Comparison of hydrogen application methods in automobile transport

Параметр	Водородный ДВС	Топливные элементы
Принцип преобразования энергии	Термический	Электрохимический
Продукт реакции	Вода, оксиды азота	Вода
Получаемый КПД	Максимально достигнутый – 45 %; Средний при использовании – 37–42 %	Максимально достигнутый – 65 %; Средний в цикле использования – 50–55 %
Необходимость доработки установки	Существенная доработка систем подачи топлива, смесеобразования и воспламенения	Не требуется, так как работает электродвигатель
Температура процесса	Высокая – 1700 °C	Низкая – 70–100 °C
Наличие подвижных механических частей	Много	Минимальное количество

Отдельная проблема связана с материалами. Водород способен ухудшать свойства многих металлов, вызывая их охрупчивание. К таким характеристикам как: прочность, герметичность и долговечность ёмкостей хранения водорода и трубопроводов предъявляются повышенные требования. Разработка новых сплавов и композитов, устойчивых к водороду, остаётся актуальной проблемой, требующей решения.

Существенную роль играет стоимость. Производство водорода, особенно «зелёного», требует значительных энергетических затрат. Небольшие объёмы выпуска автомобилей с водородными установками не позволяют снизить цену. Пока технология находится на этапе малосерийного производства, экономические показатели неблагоприятны для массового потребителя.

Серьёзным препятствием остаётся неразвитая инфраструктура заправочных станций. Во всем мире заправок, специализирующихся на водороде, очень мало, и их строительством пока что не сильно озадачены. Транспортировка водорода тоже обходится недёшево. Без разветвлённой сети заправок покупатель водородного автомобиля ограничен в перемещении, что снижает привлекательность технологии к её покупке и пользованию.

Нельзя обойти вниманием и вопросы безопасности. Водород легко воспламеняется, поэтому заправочные комплексы должны оснащаться системами обнаружения утечек, контроля давления, аварийной защиты и эффективной вентиляцией. Всё это повышает требования к проектированию и строительству инфраструктуры. Вместе с тем накопленный опыт эксплуатации показывает, что при соблюдении современных норм безопасности риски можно удерживать на приемлемом уровне.

Одним из ключевых направлений развития водородной энергетики становится совершенствование технологий получения водорода. Наиболее предпочтительным считается «зелёный» водород, производимый методом электролиза воды с использованием энергии от возобновляемых источников – солнца или ветра. В этом случае формируется практически замкнутый цикл: возобновляемая энергия идёт на получение водорода, который затем в топливных элементах снова превращается в электричество, а единственным продуктом реакции остаётся вода.

Параллельно ведутся работы по улучшению систем хранения водорода. Для автомобилей наиболее реалистичным вариантом пока является сжатый газообразный водород в баллонах высокого давления. Новые материалы позволяют создавать более лёгкие и прочные ёмкости, которые позволяют увеличить длительность работы автомобиля без увеличения его массы.

Перспективным сегментом для водородных технологий может стать грузовой транспорт. Тягачи и фургоны часто работают на дальних маршрутах и имеют большую массу. Водородные системы способны обеспечить достаточный запас хода и длительную работу в отличие от аккумуляторных электромобилей, у которых увеличение ёмкости батарей приводит к росту массы и времени зарядки.

Для легковых автомобилей ситуация сложнее. Водородным технологиям приходится конкурировать с аккумуляторными электромобилями. На мировом рынке уже огромное количество электромобилей, для которых подготавливается всё большее количество заправочных станций и другого оборудования и инфраструктуры, и с каждым днём их становится всё больше, что оставляет всё меньше пространства на рынке для легковых транспортных средств с водородными технологиями.

Из таблицы 2 видно, что водородные технологии сохраняют преимущества там, где критичны время заправки и длительность поездки, тогда как в сегменте легковых автомобилей аккумуляторные электромобили имеют более благоприятные условия.

Таблица 2 – Сравнение автомобилей с топливным элементом и аккумуляторных электромобилей

Table 2 – Comparison of fuel cell vehicles and battery electric vehicles

Параметр	Водородный автомобиль	Аккумуляторный автомобиль
Время пополнения энергии	До 10 минут при заполнении полного бака	20–30 минут при быстрой зарядке; до 12 часов в домашних условиях
Запас хода	500–700 км	400–550 км
Масса энергетической установки	Относительно небольшая – вес баков и топливных элементов доходит до 200 кг	Высокая – батарея 60–80 кВт·ч будет весить 450–500 кг
Потеря запаса хода зимой	Умеренная – 5–15 %	Существенная – 25–40 %
Развитость инфраструктуры	Крайне слабая	Активно развивающаяся
Стоимость автомобиля	От 4,5 млн рублей	От 3 млн рублей
Оптимальная сфера применения	Дальние поездки, грузовой транспорт	Городской и пригородный легковой транспорт

Подводя итог, можно отметить, что водород обладает потенциалом в качестве топлива для автомобильного транспорта. Его можно использовать в двигателях внутреннего сгорания и в топливных элементах. Экологический эффект зависит от способа производства водорода. Наибольший выигрыш даёт применение низкоуглеродных технологий и энергии из возобновляемых источников.

Сохраняются серьёзные технические и экономические ограничения: высокая стоимость оборудования, сложности с транспортировкой и хранением, необходимость создания сети заправочных станций. Проблема в сегменте грузовых автомобилей менее

ощутима, чем в легковом транспорте, ведь там уже довольно большую нишу заняли аккумуляторные электромобили и развитие данной отрасли будет зависеть от усилий энергетических компаний и компаний–производителей водородного транспорта.

Водород вряд ли станет универсальной заменой традиционным видам топлива в ближайшие годы. При дальнейшем развитии технологий, снижении стоимости производства и строительстве инфраструктуры он может занять значимое место в транспортной энергетике. Водород следует рассматривать не как единственное решение, а как один из элементов перехода к низкоуглеродной мобильности. Один килограмм водорода содержит такое же количество энергии, как 2,1 кг природного газа или 2,8 кг бензина [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов С. И., Фатеев В. Н., Люгай С. В. Автомобили с водородными поршневыми двигателями // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 1.
2. Ченский В. В., Ляченков М. А., Проценко В. А. Применение водорода на автомобильном транспорте в качестве топлива // Молодой ученый. – 2020. – № 21 (311). – С. 552–555.
3. Донсков А. В., Попов А. В. Применение водородных топливных элементов на автомобильном транспорте // Международный научно–исследовательский журнал. – 2013. – № 5 (12).
4. Фатеев В. Н., Алексеева О. К., Коробцев С. В. Проблемы аккумулирования и хранения водорода // KIMYA PROBLEMLERI. – 2018. – № 4 (16). – С. 453–483.
5. Беляев С. В. Топлива для современных и перспективных автомобилей: учебное пособие / С.В. Беляев, В. В. Беляев. – Петрозаводск: Изд–во ПетрГУ, 2005. – 236 с.

REFERENCES

1. Kozlov S. I., Fateev V. N., Lyugai S. V. Cars with hydrogen piston engines // Transport on alternative fuels. – 2014. – No. 1.
2. Chensky V. V., Lyachenkov M. A., Protsenko V. A. The use of hydrogen as a fuel in road transport // Young Scientist. – 2020. – No. 21 (311). – Pp. 552–555.
3. Donskov A. V., Popov A. V. The use of hydrogen fuel cells in road transport // International Research Journal. – 2013. – No. 5 (12).
4. Fateev V. N., Alekseeva O. K., Korobtsev S. V. Problems of Hydrogen Accumulation and Storage // KIMYA PROBLEMLERI. – 2018. – No. 4 (16). – Pp. 453–483.
5. Belyaev S. V. Fuels for modern and promising vehicles: a textbook / S. V. Belyaev, V. V. Belyaev. – Petrozavodsk: Publishing House of PetrGU, 2005. – 236 p.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_173-181
УДК 629.33:621.31

ОЦЕНКА ИНФРАСТРУКТУРНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА В РОССИИ И СЦЕНАРИИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

В.О. Никонов[1], В.И. Посметьев[1], В.В. Скобелев[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, 8888nike8888@mail.ru

Аннотация. В работе представлен комплексный количественный анализ инфраструктурных и энергетических барьеров эксплуатации электротранспорта в России. На основе статистических данных о рынке электромобилей и результатов математического моделирования выполнена оценка дополнительной нагрузки на энергосистемы городов при сценарии замены 15 % автопарка. Установлено, что рост парка электромобилей на 34 % за год сопровождается критическим отставанием зарядной инфраструктуры.

Ключевые слова: электротранспорт, эксплуатация автомобилей, зарядная инфраструктура, энергетическая нагрузка, электромобили, электроэнергетическая система.

ASSESSMENT OF INFRASTRUCTURE AND ENERGY BARRIERS TO ELECTRIC TRANSPORT OPERATION IN RUSSIA AND SCENARIOS FOR THEIR OVERCOMING

V.O. Nikonov[1], V.I. Posmetev[1], V.V. Skobelev[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, 8888nike8888@mail.ru

Abstract. The paper presents a comprehensive quantitative analysis of infrastructure and energy barriers to electric transport operation in Russia. Based on statistical data on the electric vehicle market and mathematical modeling results, the additional load on urban power systems under a scenario of replacing 15 % of the vehicle fleet is assessed. It is established that a 34 % annual growth in the electric vehicle fleet is accompanied by a critical lag in charging infrastructure.

Keywords: electric transport, vehicle operation, charging infrastructure, energy load, electric vehicles, electric power system.

Электрификация транспортного сектора представляет собой устойчивую мировую тенденцию. Развитие автомобильного транспорта обусловлено необходимостью сокращения вредных выбросов, а также повышения энергетической безопасности. В РФ развитие электротранспорта закреплено в «Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта на период до 2030 г.», утверждённой распоряжением Правительства РФ от 23.08.2021 № 2290–р. В России установлены целевые показатели развития электротранспорта. Тем не менее по парку транспортных средств с электрическими силовыми установками страна существенно уступает государствам лидерам. Отставание также отмечается в развитии зарядной инфраструктуры.

Необходимость проведения данного исследования объясняется влиянием ряда взаимозависимых факторов. Во–первых, развитие рынка электротранспорта в России происходит быстрыми темпами, но отличается крайней неравномерностью. Аналитическое агентство

© Никонов В. О., Посметьев В. И., Скобелев В. В., 2026

«Автостат» указывает, что на начало 2026 г. в РФ насчитывалось приблизительно 80 тыс. зарегистрированных электромобилей – 0,2 % всего парка легковых транспортных средств. Это на 34 % больше, чем годом ранее. Вместе с тем динамика продаж электромобилей существенно опережает динамику увеличения их парка. Так, в январе 2026 г. было реализовано 990 новых электромобилей, что на 30 % больше, чем в январе 2025 г., когда продажи составили 763 ед. При этом доля электромобилей российского производства увеличилась с 21 % годом ранее до 30 % [1, 2].

Во–вторых, в 2026 г. в России впервые был достигнут 10–процентный суммарный показатель электрифицированных транспортных средств на рынке. Его сформировали 757 «чистых» электромобилей, или 2,9 %, и 1850 подключаемых гибридов, или 7,1 %. Приведённый факт отражает качественный сдвиг в структуре спроса. Однако динамика развития инфраструктуры не соответствует темпам изменения парка. В–третьих, территориальная структура парка электромобилей отличается высокой степенью неоднородности. Так, в десяти регионах сосредоточено 65 % всех электромобилей. При этом на Москву приходится 29 %, на Подмосковье – 7,9 %, на Краснодарский край – 6,3 %, на Санкт–Петербург – 5,6 %. Столь высокая степень сосредоточенности создаёт условия для локальной перегрузки энергосистем, а также приводит к тому, что обширные регионы не располагают базовой зарядной инфраструктурой. На начало II квартала 2026 г. суммарное число общедоступных электрозарядных станций в России составило 9889 ед., приблизившись к отметке 10 тыс. При этом количество быстрых станций постоянного тока впервые превысило число медленных – 5004 ед. против 4885 ед. [1, 3, 4].

В–четвёртых, доля владельцев электромобилей, использующих зарядные станции общего пользования, составляет лишь 60 %. Остальные 40 % заряжают транспортные средства по месту жительства или работы, что существенно снижает нагрузку на городскую распределительную сеть, однако одновременно лимитирует возможности масштабирования [5].

В–пятых, значимость экономических и климатических эффектов, связанных с переходом на электротранспорт, непрерывно возрастает. Центр стратегических разработок оценивает эффект замены одного бензинового автомобиля электромобилем в 3–4 тонны CO_2 в год. В коммерческом транспорте аналогичная замена даёт сокращение выбросов на десятки тонн. Применительно к российским условиям электромобили представляют собой наиболее действенный инструмент уменьшения прямых выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в автотранспортной отрасли [6].

Научная задача исследования заключается в разработке методического подхода к комплексной количественной оценке инфраструктурных и энергетических ограничений эксплуатации электротранспорта в России. Дополнительно требуется обосновать варианты преодоления этих ограничений с учётом эксплуатационных требований, предъявляемых к автомобильному транспорту. Исследование ориентировано на процесс эксплуатации электротранспортных средств в Российской Федерации, который определён в качестве его объекта. В качестве предмета исследования рассматриваются инфраструктурные и энергетические ограничения, сдерживающие расширение масштабов эксплуатации электротранспорта, и системные эффекты, достигаемые в результате их устранения. Область исследования охватывает 16 крупнейших городов России с численностью населения свыше 1 млн. чел. Дополнительно в неё включён анализ федеральных автомобильных дорог, необходимый для обоснования минимально требуемого количества станций быстрой зарядки. В качестве цели исследования определены комплексная количественная оценка инфраструктурных и энергетических ограничений эксплуатации электротранспорта в РФ и формирование сценариев их устранения.

Методологическую основу исследования составляет сочетание количественных и качественных методов анализа, что обеспечивает комплексный характер и достоверность полученных результатов. При проведении анализа статистических данных была осуществлена обработка данных аналитического агентства «Автостат» [1] и сведений

отраслевых новостных платформ [2–5], относящихся к 2025–2026 гг. Для анализа рыночной динамики использовалась информация о реализации новых электромобилей, структуре и территориальном распределении парка, а также о развитии зарядной инфраструктуры. Обобщение рассматриваемых данных дало возможность установить ключевые закономерности и неравномерности в развитии электротранспортной отрасли.

Этап математического моделирования включал построение модели для количественной оценки дополнительной нагрузки, возникающей в энергосистеме города при замене 15 % автомобильного парка на электромобили. Методологическую основу составляет подход, базирующийся на распределениях времени отправления и прибытия транспортных средств. В данной работе представлена модель, позволяющая выполнить аналитическую оценку дополнительного электропотребления. При построении модели принимаются в расчёт технические характеристики парка электромобилей, климатические условия и особенности поведения пользователей. В качестве объектов для расчётов были выбраны 16 крупнейших российских городов с населением более одного миллиона жителей. Также проведено внутрисуточное моделирование электропотребления электромобилей для условного российского города с населением свыше 1 млн. чел. На основе полученных данных разработаны три сценария нагрузки на энергосистему: максимальный, средний и минимальный [7, 8].

В отдельную группу следует выделить исследования, посвящённые анализу факторов спроса на зарядную инфраструктуру, выбору параметров силовых установок гибридных автомобилей для российских условий эксплуатации, а также оценке жизненного цикла транспортных средств с учётом структуры генерации электроэнергии [10–12].

В целях оценки системных эффектов, обусловленных преодолением инфраструктурных барьеров, использовалась детерминированная модель «инфраструктура – спрос – системные эффекты». Для адаптации к российским условиям в неё включён поправочный коэффициент $\gamma = 0{,}75$, отражающий климатическую и демографическую асимметрию. Предлагаемая модель позволяет рассчитать ежегодное уменьшение выбросов CO_2, величину экономии топлива и удельные инвестиции, отнесённые к 1 т CO_2 [9].

Анализ данных выявляет устойчивую диспропорцию: в субъектах РФ с высоким уровнем насыщения парка электромобилями (Иркутская область, Приморский край, Калининградская область) плотность зарядных станций остаётся низкой. Такой результат говорит о несинхронном развитии рынка и инфраструктуры. Свердловская и Ростовская области, а также Татарстан, где уровень электрификации исторически невысок, демонстрируют значения показателя электромобилей на 1000 чел. ниже 0,5 [1].

Рисунок 1 содержит точечную диаграмму, которая демонстрирует взаимосвязь между годовым приростом парка электромобилей и плотностью зарядной инфраструктуры. В рассматриваемых данных выделяются две группы: регионы–лидеры – Москва, Санкт–Петербург, Краснодарский край и отстающие регионы – Свердловская область, Ростовская область, Татарстан [1].

Анализ данных, представленных на рисунке 1, свидетельствует о наличии устойчивой положительной корреляционной связи между плотностью электрозарядной инфраструктуры и увеличением парка электромобилей в регионах–лидерах. На каждую дополнительную единицу плотности зарядных станций, приходящуюся на 100 км, наблюдается увеличение парка электромобилей на 12–15 %. В случае рассматриваемой совокупности регионов коэффициент детерминации линейного тренда составляет $R^2 = 0{,}78$. Полученное значение указывает на высокую адекватность модели. В случае отстающих регионов рассматриваемая зависимость проявляется существенно слабее. При аналогичном приросте плотности электрозарядных станций увеличение парка электромобилей составляет всего 3–5 %. В рассматриваемой группе коэффициент детерминации составляет лишь $R^2 = 0{,}34$, следовательно, на развитие электротранспорта влияют и другие значимые ограничивающие факторы. Таким образом, представленные на рисунке 1 данные

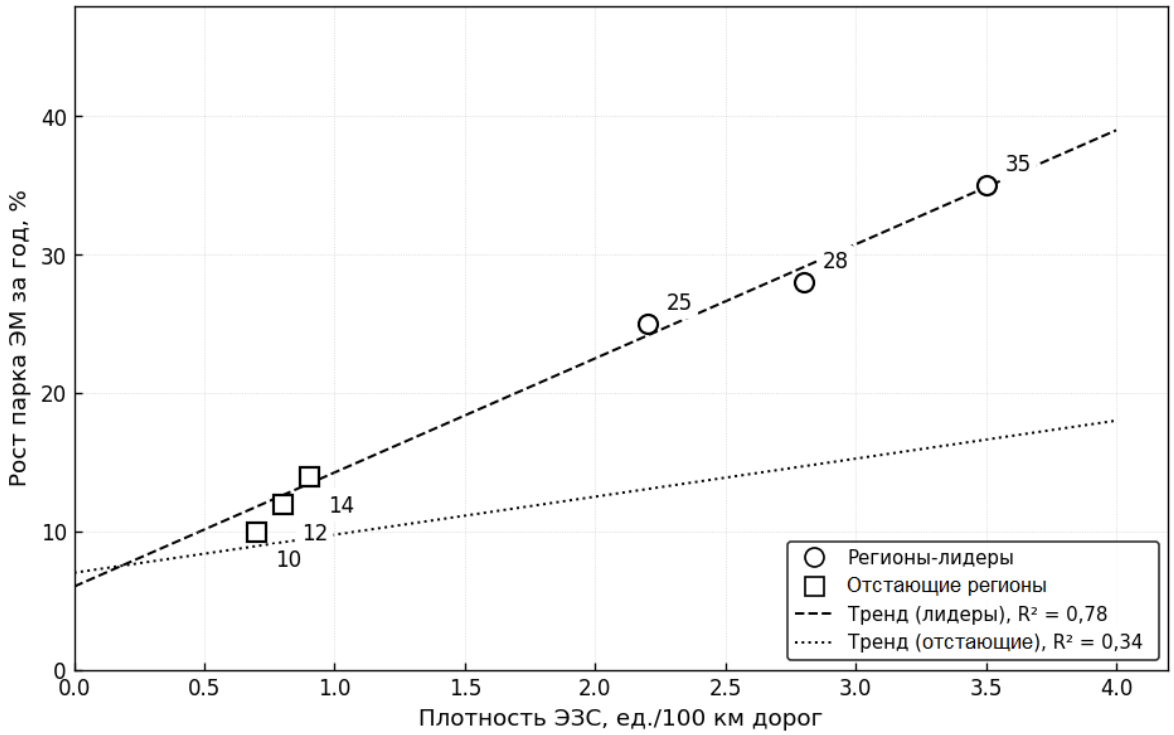


Рисунок 1 – Зависимость прироста парка электромобилей от плотности размещения зарядной инфраструктуры в передовых и отстающих регионах
Figure 1 – The relationship between the growth of the electric vehicle fleet and the density of charging infrastructure deployment in leading and lagging regions

наглядно иллюстрируют эффект «инфраструктурного порога»: пока плотность зарядных станций не достигает уровня примерно 1,5–2 ед. на 100 км дорог, рынок электромобилей не приобретает достаточного стимула к росту. В регионах, где пороговое значение не достигнуто, темпы развития электротранспорта остаются невысокими.

В виде диаграммы Парето на рисунке 2 представлено распределение электрозарядных станций общего пользования по восьми федеральным округам России по состоянию на апрель 2026 г. Диаграмма включает два элемента: столбцы с абсолютными значениями количества электрозарядных станций в каждом округе и линию кумулятивной доли, служащую для оценки степени концентрации инфраструктуры [4].

Как следует из рисунка 2, распределение зарядной инфраструктуры по территории характеризуется критической несбалансированностью. Центральный федеральный округ концентрирует примерно 3200 электрозарядных станций, или 40 % всех общедоступных электрозарядных станций Российской Федерации. По количеству электрозарядных станций Приволжский федеральный округ находится на втором месте (1100 ед., 14 %), а Северо–Западный федеральный округ – на третьем (950 ед., 12 %). Таким образом, более 65 % всей зарядной инфраструктуры Российской Федерации сконцентрировано в пределах трёх федеральных округов [4].

Противоположную, минимальную, позицию в распределении занимают Северо–Кавказский (250 электрозарядных станций, или 3 %) и Дальневосточный (400 электрозарядных станций, или 5 %) федеральные округа. Это обусловливает значительные ограничения для развития электротранспорта в данных регионах. В точке, соответствующей пятому федеральному округу (Сибирскому федеральному округу), кумулятивная доля превышает 80 %. Следовательно, пять округов из восьми охватывают не менее 80 % всей зарядной инфраструктуры [4].

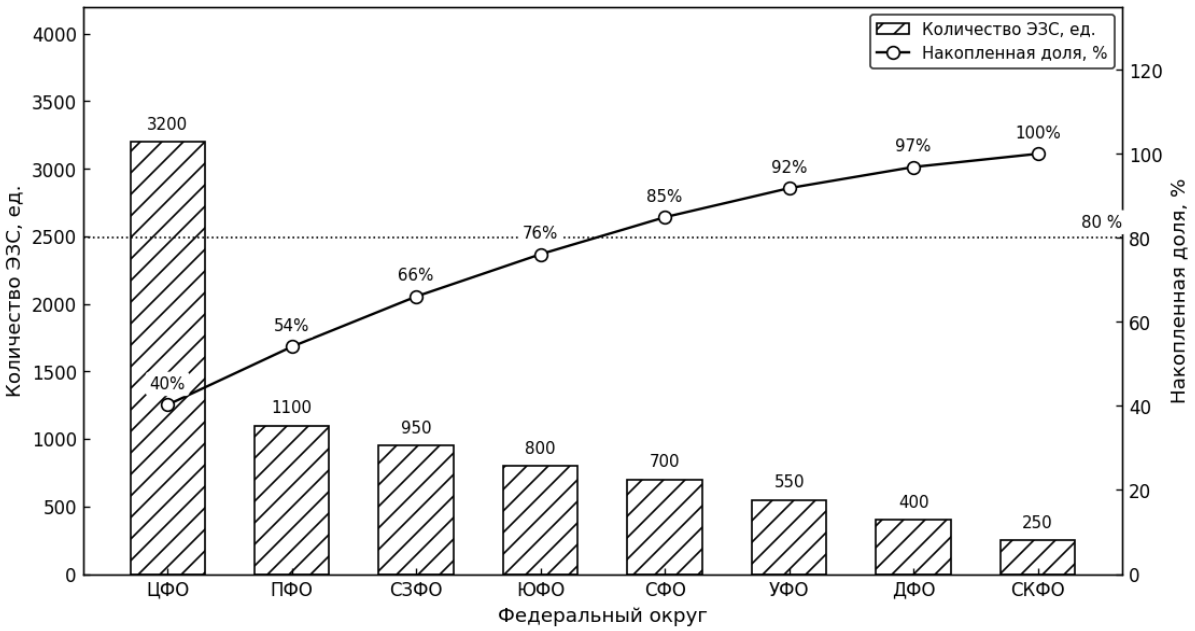


Рисунок 2 – Распределение общедоступных электрозарядных станций по федеральным округам России, представленное в виде диаграммы Парето
Figure 2 – Distribution of publicly accessible electric vehicle charging stations across the federal districts of Russia, presented as a Pareto chart

Важно отметить, что в первом квартале 2026 г. наблюдалось существенное смещение приоритетов в строительстве электрозарядных станций в пользу Сибирского и Южного федеральных округов. Подобная динамика позволяет предположить запуск процесса сокращения территориальных диспропорций [4]. Тем не менее текущая степень концентрации сохраняется на критически высоком уровне, что делает необходимым проведение целенаправленной государственной политики по стимулированию инфраструктурного развития в отстающих регионах.

В работе предложена детерминированная модель, предназначенная для количественной оценки дополнительного электропотребления в среднегодовом выражении при эксплуатации электромобилей; модель имеет вид

$$\Delta E_{EV} = \alpha \cdot N_{car} \cdot \beta \cdot \left(\frac{E_{100}}{100}\right) \cdot \gamma ,$$

где ΔE_{EV} – дополнительное потребление электроэнергии за год в результате эксплуатации электромобилей, кВт·ч/год; α – доля автопарка, подлежащая замещению электромобилями;

N_{car} – суммарное количество автомобилей в городе, ед.; β – средняя величина годового пробега автомобиля, км/г.; E_{100} – средний расход электроэнергии, приходящийся на 100 км пути, кВт·ч/100 км; γ – корректирующий коэффициент, отражающий влияние климатических и демографических характеристик региона [9].

Представленная зависимость обеспечивает возможность аналитической оценки среднегодового прироста электропотребления, связанного с эксплуатацией электромобилей, без проведения ресурсоёмкого имитационного моделирования. Предлагаемая формула, в отличие от исходной модели Plesovskikh A.E. et al. [7], построенной на внутрисуточном моделировании с использованием распределений времени отправления и прибытия транспортных средств, обеспечивает детерминированную реконструкцию. Ей присущи прозрачность расчёта и воспроизводимость результатов.

Научная значимость рассматриваемой зависимости заключается в установлении прямой взаимосвязи между эксплуатационными параметрами автомобильного транспорта – средним годовым пробегом β и расходом электроэнергии на 100 км E_{100} – и энергетическими характеристиками городской инфраструктуры. Формула имеет прикладное значение, поскольку может использоваться как средство проведения сценарного анализа. Изменяя долю замещения автопарка α, можно моделировать различные сценарии электрификации (5 %, 10 %, 15 %, 30 %) и оценивать соответствующие нагрузки на энергосистему.

Для приведения расчёта в соответствие с российскими условиями применяется поправочный коэффициент $\gamma = 0{,}75$, отражающий климатическую и демографическую неоднородность регионов. Тем самым предложенная зависимость отличается от оригинального подхода [7] и модели Воронина В.А. [8], поскольку последние не обеспечивают полноценного учёта региональной специфики.

Для анализа воздействия стратегий зарядки на суточный объём потребления электроэнергии населением обратимся к трём сценариям, приведённым в таблице 1. Сценарий А является наиболее критическим, он предусматривает увеличение нагрузки более чем в 2,4 раза относительно базового уровня. Это обусловливает необходимость масштабной модернизации распределительных сетей. Сценарий С иллюстрирует потенциал управления нагрузкой на основе интеллектуального планирования зарядных процессов. Он может быть принят в качестве целевого ориентира при подготовке нормативных требований, предъявляемых к зарядной инфраструктуре [7].

Таблица 1 – Варианты суточного электропотребления населением при различных стратегиях зарядки электромобилей [7]

Table 1 – Options for daily electricity consumption by the population under various electric vehicle charging strategies [7]

Сценарий	Стратегия зарядки	Доля заряжающихся электромобилей, %	Рост суточного потребления, %
А (максимальный)	Все электромобили имеют уровень заряда 0 %	100	+ 141,8
В (средний)	Уровень заряда распределён от 0 % до 100 %	~ 60	+ 75,6
С (минимальный)	Зарядка только при уровне заряда ≤ 20 %	~ 25	+ 28,4

Согласно исследованию Воронина В.А. [8], для парка электротранспорта в 1 млн. ед. изменение влияющих факторов может приводить к колебаниям электропотребления электрозарядной инфраструктуры в диапазоне 0,14–0,62 %. В части максимума мощности соответствующий диапазон составляет 0,09–2,26 % от значений ЕЭС России 2024 г. В соответствии с прогнозом до 2050 г., доля электропотребления электрозарядной инфраструктуры может находиться в диапазоне 8,13–11,85 % от уровней 2024 г., а доля максимума мощности – в диапазоне 11,54–16,81 % [8]. Работа Voronin V.A. et al. [10] также подтверждает наличие аналогичных закономерностей.

Одним из ключевых направлений анализа является оценивание системных эффектов, достигаемых в результате преодоления инфраструктурных барьеров. В виде комбинированного графика на рисунке 3 представлена прогнозная динамика двух ключевых системных эффектов устранения инфраструктурных барьеров: уменьшения выбросов CO_2 и экономии топлива [9].

Рассмотрение рисунка 3 позволяет установить, что для обоих показателей характерна устойчивая положительная динамика, наблюдаемая на всём прогнозном интервале. Снижение выбросов CO_2 увеличивается с нуля в 2026 г., достигая 569,5 тыс. тонн в год к 2030 г. Рост данного показателя происходит нелинейно. Если в 2027 г. сокращение оценивается в 120 тыс. тонн, то в 2028 г. оно увеличивается до 280 тыс. тонн, а в 2029 г. – до 430 тыс. тонн. Пик прироста наблюдается в 2028–2029 гг. Именно в этот период накопленные инвестиции в инфраструктуру начинают возвращаться благодаря возникающим системным эффектам [9].

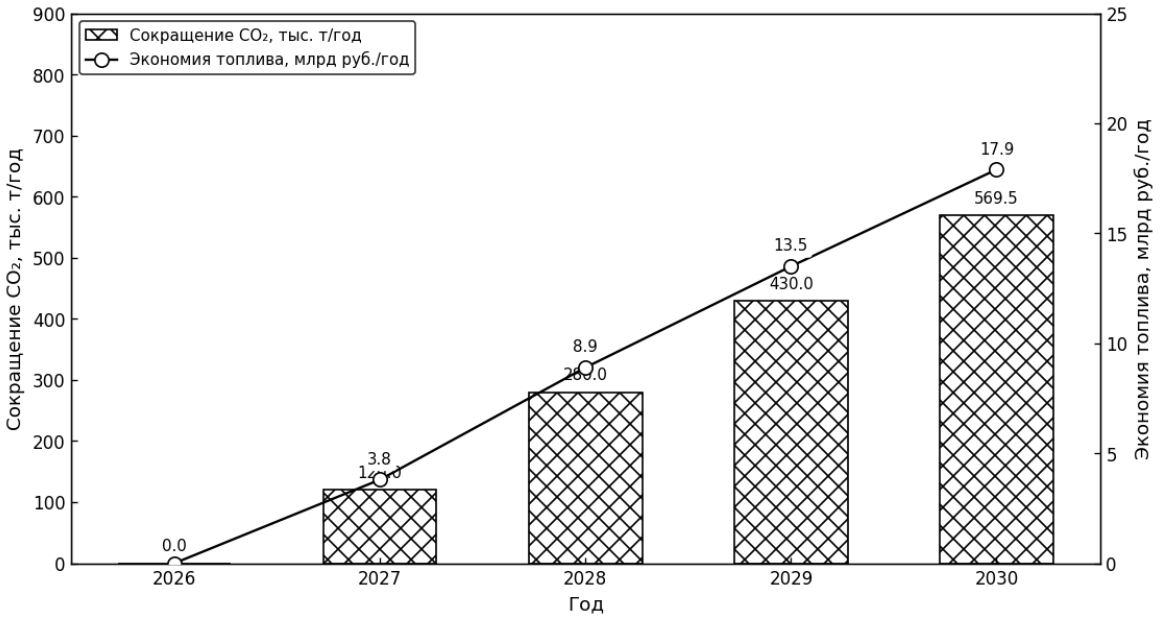


Рисунок 3 – Прогнозируемое изменение выбросов CO_2 и экономии топлива при выходе на минимальный уровень доступности инфраструктуры к 2030 г.
Figure 3 – Projected change in CO_2 emissions and fuel savings upon reaching the minimum level of infrastructure accessibility by 2030

Аналогичная динамика характерна для экономии топлива, обусловленной заменой автомобилей с двигателями внутреннего сгорания на электромобили. Если в 2026 г. она отсутствует (нулевой уровень), то в 2027 г. составляет 3,8 млрд. р., в 2028 г. – 8,9 млрд. р., в 2029 г. – 13,5 млрд. р. К 2030 г. значение возрастает до 17,9 млрд. р. В 2028 г. наблюдается перелом динамики – темпы увеличения обоих показателей достигают своих максимальных значений [9].

По оценкам Белика И.С. и Аликберовой Т.Т. [9], при достижении минимально необходимого уровня доступности инфраструктуры формируются годовые системные эффекты, а именно сокращение эмиссии CO_2 на 569,5 тыс. тонн и экономия топлива на сумму 17,9 млрд. р. Удельные капитальные вложения при этом оцениваются в 47,2 тыс. р./т CO_2. Такое значение по сравнению с иными мерами декарбонизации свидетельствует об экономической обоснованности реализуемых решений. Географический анализ сети федеральных автомобильных дорог позволил обосновать минимально требуемое количество станций быстрой зарядки: 900 ед. с шагом размещения не более 200 км [9].

В ходе исследования установлено, что инфраструктурные и энергетические барьеры эксплуатации электротранспорта в России носят системный характер. Они не могут быть сняты только посредством роста парка электромобилей. Результаты анализа показывают: увеличение парка на 34 % за год при доле 0,2 % от совокупного легкового автопарка обусловлено преимущественно эффектом низкой базы и сосредоточением спроса

в нескольких агломерациях, а не устойчивым трендом. Выявленный эффект «инфраструктурного порога» составляет 1,5–2 ед. на 100 км дорог. Он свидетельствует о том, что дальнейшее масштабирование эксплуатации электротранспорта невозможно без опережающего развития зарядной сети, а не её синхронизации с уже сложившимся спросом.

Полученные данные послужили базой для разработки практических рекомендаций, предназначенных для многих заинтересованных сторон. Для энергетических компаний формула служит инструментом оперативной оценки прироста нагрузки при различных сценариях электрификации. Она также обеспечивает возможность планирования модернизации распределительных сетей. Для производителей зарядного оборудования рекомендуется создавать продукты с функциями интеллектуального управления зарядкой, рассчитанные на сценарий ограничения прироста нагрузки уровнем 28,4 %. Планирование эксплуатации парков электромобилей операторам автомобильного транспорта следует осуществлять с учётом особенностей регионов.

Дальнейшие исследования предполагают углубление предложенного подхода и расширение сферы его применения. Разработка детальных региональных моделей электропотребления, принимающих во внимание местные климатические и демографические особенности, является целесообразной. Такие модели позволят уточнить поправочный коэффициент для каждого федерального округа. Перспективным направлением представляется исследование технологии двунаправленной зарядки, ориентированной на стабилизацию энергосистем и выравнивание суточных графиков нагрузки. Сохраняет актуальность проведение анализа жизненного цикла электромобилей в условиях России с учётом структуры производства электроэнергии. Требуется разработка методик, обеспечивающих оптимальное размещение зарядных станций на основе пространственного анализа и данных о транспортных потоках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В России насчитывается 80 тысяч электромобилей // Автостат. – 2026. – 17 марта. – URL: https://www.autostat.ru/infographics/61985/ (дата обращения: 25.09.2026).

2. О рынке транспортных средств Российской Федерации категорий M N в январе 2026 г. // Минпромторг России. – 2026. – URL: https://minpromtorg.gov.ru/storage/797ced43–043d–4b4e–b72b–3d36984adbc7/ssp–documents/88194ea8–4561–431e–8ecc–84c34d21dd3d/5f41ddff–36c9–461e–8f41–cce2f3cd23da.pdf (дата обращения: 25.09.2026).

3. Доля электрифицированных автомобилей в России впервые достигла 10 % // Автовзгляд. – 2026. – 24 сентября. – URL: https://www.avtovzglyad.ru/avto/electric–cars/74945–2026–09–24–dolya–elektrifitsirovannyih–avtomobiley–vrossii–vpervyie–dostigla–10/ (дата обращения: 25.09.2026).

4. В России открыто почти 10 тысяч зарядок для электромобилей: где больше всего ЭЗС // 5koleso.ru. – 2026. – 9 апреля. – URL: https://5koleso.ru/articles/novosti/v–rossii–otkryto–pochti–10–tysyach–zaryadok–dlya–elektromobilej–gde–bolshe–vsego–ezs/ (дата обращения: 25.09.2026).

5. «Высокий спрос». Зарядные станции для электрокаров оказались перегружены // Autonews. – 2026. – 21 июля. – URL: https://www.autonews.ru/news/6a5f76c29a7947804afac7c9 (дата обращения: 25.09.2026).

6. Электромобили в России: экономические, экологические и климатические эффекты // Центр стратегических разработок. – 2025. – URL: https://www.csr.ru/ru/news/elektromobili–v–rossii–ekonomicheskie–ekologicheskie–i–klimaticheskie–effekty/ (дата обращения: 25.09.2026).

7. Plesovskikh, A. E., Kolyan, N. S., Gordeev, R. V., Pyzhev, A. I. Infrastructure Barriers to the Electrification of Vehicle Fleets in Russian Cities // World Electric Vehicle Journal. – 2026. – Vol. 17, №. 1. – P. 51. – DOI: 10.3390/wevj17010051.

8. Воронин В. А. Исследование влияния электрозарядной инфраструктуры электро–транспорта на электроэнергетическую систему России : анализ значимости факторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2026. – Т. 28. № 1. – С. 70–88. – DOI: 10.30724/1998–9903–2026–28–1–70–88.

9. Белик И. С., Аликберова Т. Т. Инфраструктурные аспекты развития электротранс–порта в России : системные барьеры и эффекты преодоления // Journal of Applied Economic Research. – 2026. – Т. 25. № 1. – С. 283–317. – DOI: 10.15826/vestnik.2026.25.1.010.

10. Voronin, V. A., Nepsha, F., Ilyushin, P. A Demand Factor Analysis for Electric Vehicle Charging Infrastructure // World Electric Vehicle Journal. – 2025. – Vol. 16, №. 9. – P. 537. – DOI: 10.3390/wevj16090537.

11. Karpukhin K. E., Kolbasov A. F., Iturralde P., Zemtsev S. E., Karpukhin F. K. The Choice of Characteristics of the Components of the Power Plant of a Class C Hybrid Vehicle for Operation in the Russian Federation // Energies. – 2025. – Vol. 18, №. 21. – P. 5826. – DOI: 10.3390/en18215826.

12. Pipitone E., Caltabellotta S., Occhipinti L. A Life Cycle Environmental Impact Comparison between Traditional, Hybrid, and Electric Vehicles in the European Context // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, №. 19. – P. 10992. – DOI: 10.3390/su131910992.

REFERENCES

1. There are 80 thousand electric vehicles in Russia. Autostat, 2026, March 17 (In Russ.). URL: https://www.autostat.ru/infographics/61985/ (accessed: 25.09.2026).

2. On the market of vehicles of categories M N in the Russian Federation in January 2026. Minpromtorg Rossii, 2026 (In Russ.). URL: https://minpromtorg.gov.ru/storage/797ced43–043d–4b4e–b72b–3d36984adbc7/ssp–documents/88194ea8–4561–431e–8ecc–84c34d21dd3d/5f41ddff–36c9–461e–8f41–cce2f3cd23da.pdf (accessed: 25.09.2026).

3. The share of electrified cars in Russia reached 10 % for the first time. Avtovzglyad, 2026, September 24 (In Russ.). URL: https://www.avtovzglyad.ru/avto/electric–cars/74945–2026–09–24–dolya–elektrifitsirovannyih–avtomobiley–vrossii–vpervyie–dostigla–10/ (accessed: 25.09.2026).

4. Almost 10 thousand charging stations for electric vehicles opened in Russia. 5koleso.ru, 2026, April 9 (In Russ.). URL: https://5koleso.ru/articles/novosti/v–rossii–otkryto–pochti–10–tysyach–zaryadok–dlya–elektromobilej–gde–bolshe–vsego–ezs/ (accessed: 25.09.2026).

5. High demand: Charging stations for electric cars are overloaded. Autonews, 2026, July 21. (In Russ.) URL: https://www.autonews.ru/news/6a5f76c29a7947804afac7c9 (accessed: 25.09.2026).

6. Electric vehicles in Russia: economic, environmental and climatic effects. Center for Strategic Research, 2025. (In Russ.) URL: https://www.csr.ru/ru/news/elektromobili–v–rossii–ekonomicheskie–ekologicheskie–i–klimaticheskie–effekty/ (accessed: 25.09.2026).

7. Plesovskikh A. E., Kolyan N. S., Gordeev R. V., Pyzhev A. I. Infrastructure Barriers to the Electrification of Vehicle Fleets in Russian Cities. World Electric Vehicle Journal, 2026, vol. 17, №. 1, p. 51. DOI: 10.3390/wevj17010051.

8. Voronin, V. A. Issledovanie vliyaniya elektrozaryadnoi infrastruktury elektrotransporta na elektroenergeticheskuyu sistemu Rossii : analiz znachimosti faktorov [Investigation of the Impact of Electric Vehicle Charging Infrastructure on the Russian Power System : Feature Importance Analysis]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki, 2026, vol. 28, №. 1, pp. 70–88. (In Russ.) DOI: 10.30724/1998–9903–2026–28–1–70–88.

9. Belik I. S., Alikberova, T. T. Infrastrukturnye aspekty razvitiya elektrotransporta v Rossii : sistemnye bar'ery i effekty preodoleniya [Infrastructure Aspects of Electric Transport Development in Russia : Systemic Barriers and Effects of Their Overcoming]. Journal of Applied Economic Research, 2026, vol. 25, №. 1, pp. 283–317. (In Russ.) DOI: 10.15826/vestnik.2026.25.1.010.

10. Voronin V. A., Nepsha F., Ilyushin P. A Demand Factor Analysis for Electric Vehicle Charging Infrastructure. World Electric Vehicle Journal, 2025, vol. 16, №. 9, p. 537. DOI: 10.3390/wevj16090537.

11. Karpukhin K. E., Kolbasov A. F., Iturralde P., Zemtsev S. E., Karpukhin F. K. The Choice of Characteristics of the Components of the Power Plant of a Class C Hybrid Vehicle for Operation in the Russian Federation. Energies, 2025, vol. 18, №. 21, p. 5826. DOI: 10.3390/en18215826.

12. Pipitone E., Caltabellotta S., Occhipinti L. A Life Cycle Environmental Impact Comparison between Traditional, Hybrid, and Electric Vehicles in the European Context. Sustainability, 2021, vol. 13, №. 19, p. 10992. DOI: 10.3390/su131910992.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_182-186
УДК 621.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В ТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.Г. Локтионова[1], И.В. Кулев[1], З.А. Корзан[1]
[1]Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, Белгород, Россия
Автор, ответственный за переписку: Алина Геннадьевна Локтионова, alinabur1995@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы внедрения и использования электромобилей в транспортном комплексе Российской Федерации. Проведен анализ ключевых факторов, влияющих на развитие электротранспорта, включая состояние зарядной инфраструктуры, экономические стимулы, климатические особенности и правовое регулирование.

Ключевые слова: электромобиль, гибридный автомобиль, электротранспорт, транспортный комплекс, экологичность, зарядная инфраструктура.

PROSPECTS FOR USING ELECTRIC VEHICLES IN THE TRANSPORT COMPLEX OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.G. Loktionova[1], I.V. Kulev[1], Z.A. Korzan[1]
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
Corresponding author: Alina Gennadyevna Loktionova, alinabur1995@mail.ru

Abstract. The article examines the prospects for the adoption and use of electric vehicles within the transport sector of the Russian Federation. It analyzes key factors influencing the development of electric transport, including the state of charging infrastructure, economic incentives, climatic conditions, and the regulatory framework.

Keywords: electric vehicle, hybrid vehicle, electric transport, transport sector, environmental sustainability, charging infrastructure.

Мир транспорта стремительно меняется: забота об экологии и новые стандарты заставляют автоконцерны менять привычные подходы. Если несколько десятилетий назад практически весь мир ездил на автомобилях с бензиновыми и дизельными моторами, то сейчас рынок все активнее заполоняет гибридный и электрический транспорт. У этих технологий разные сильные стороны: у электромобилей создается тяга при помощи электродвигателя, которая поступает благодаря источнику питания, расположенному на борту электромобиля, в то время как гибридный автомобиль оснащен двумя источниками энергии: двигателем внутреннего сгорания и электромотором, которые совместно обеспечивают работу для движения автомобиля [1]. Такие автомобили передвигаются на электротяге в городе, экономя топливо и снижая вредные выбросы в атмосферу, а при поездке на дальнее расстояние переключаются на двигатель внутреннего сгорания. Таким образом гибридные автомобили снижают острую проблему «тревоги запаса хода» и делают переход к «зеленому» транспорту более плавным.

В Российской Федерации на основании Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [2] разработана «Концепция по развитию производ-

© Локтионова А. Г., Кулев И. В., Корзан З. А., 2026

ства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года» [3]. Цель концепции заключается в том, чтобы задать ключевые направления государственной политики для увеличения производства и применения электротранспорта, который включает в себя электромобили, гибридные автомобили и достижения глобальных целевых показателей. Задачами являются развитие производственной базы РФ для создания электромобилей, создание и развитие инфраструктуры (наличие в малых и средних городах станций с зарядными устройствами), а также стимулирование спроса и организация обслуживания электромобилей после продажи. Предполагается, что в РФ к 2030 году доля электротранспорта достигнет порядка 15% общего объема рынка автотранспорта, что соответствует примерно 220 тыс. единиц производства в год.

Развитие электромобилей в России происходит в тяжелых на сегодняшний день условиях не только для страны, но и для всего мира. В отличие от рынков США или Китая, где рост числа электромобилей поддерживается плотной городской застройкой и развитой сетью зарядных станций, в РФ перспективы электромобилей определяются сочетанием государственной политики, локализации производства и специфики эксплуатации в суровых для страны климатических условиях. На сегодняшний день стоят задачи провести сравнительную оценку, которая ограничивает факторы внедрения электромобилей на российском рынке с различием по федеральным округам и выстроить их систему уровней по силе воздействия на динамику спроса в краткосрочной и среднесрочной перспективе пользования [4].

На сегодняшний день, за первый и второй кварталы 2026 года объем производства сертифицированных в России гибридных и электрических автомобилей достиг 54 тыс. шт., что на 90 % больше показателя того же периода 2025 года [5]. Самыми продаваемыми транспортными средствами в РФ являются такие как: Lixiang L7, Chevrolet Volt, Nissan Leaf, Audi e–tron, Porsche Taycan, Москвич 3е, Tesla и Zeekr.

В ходе работы проведен анализ спроса электромобилей и гибридных автомобилей на мировых рынках (рис.1). На сегодняшний день Китай является самой крупной страной по производству и выпуску электро– и гибридных автомобилей, что составляет в год около 16,6 миллионов шт. Самыми распространенными марками являются: Geely Xingyuan, BYD Seagull, Xiaomi SU7, Lixiang L6, Geely Galaxy Starshine 6 [5]. При анализе рынка США установлено, что в среднем в год выпускается около 3 млн. шт. автомобилей. Лидером производителем является компания Tesla, 52% от всего мирового рынка. Также США выпускает такие марки автомобилей как: Mustang Mach–E, Chevrolet Equinox EV, Volkswagen ID.4, Mercedes–Benz EQS, EQE.

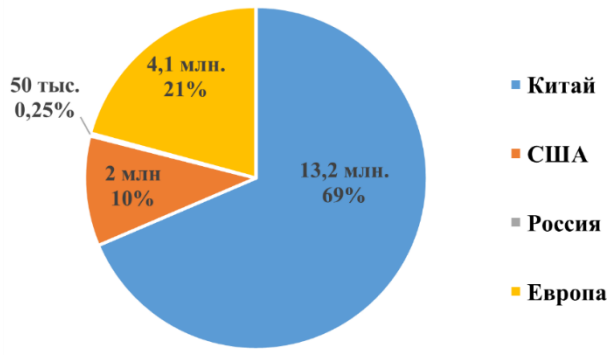


Рисунок 1 – Мировая статистика продаж электромобилей и гибридных автомобилей в 2025 г.

Figure 1 – Global sales statistics for electric and hybrid vehicles in 2025

Самыми продаваемыми марками автомобилей на мировом рынке являются: Lixiang, Tesla Model Y, Honda CR–V Hybrid (рис.2).

а) *б)* *в*)



Рисунок 2 – Популярные электромобили в мире:
а) Li L7, б) Honda CR–V Hybrid, в) TESLA model Y
Figure 2 – Popular electric vehicles worldwide:
a) Li L7, b) Honda CR–V Hybrid, c) Tesla Model Y

В ходе исследования проведено сравнение электромобилей и классических автомобилей на топливе, тем самым были выявлены их сильные и слабые стороны (табл. 1) [6].

Таблица 1 – Сравнительная характеристика типов транспортных средств по типу силовой установки

Table 1 – Comparative characteristics of vehicle types by powertrain type

Классический автомобиль (бензиновый/дизельный)		**Электромобиль**	**Гибридный автомобиль**
Преимущества			
бензиновый – Тихая работа двигателя, – Быстрый прогрев автомобиля, – Доступное обслуживание, –Ликвидность на вторичном рынке	*дизельный* – Высокий крутящий момент на низких оборотах, – Экономичный расход топлива, – Экологичность (с системами очистки)	– Низкая стоимость зарядки, – Доступный ремонт (ТО), – Отсутствие выбросов вредных веществ при движении, – Льготы при покупке	– Экономичный расход, – Плавная и тихая езда, – Экологичность, – Экономия топлива
Недостатки			
–Высокий расход топлива, – Ранний капитальный ремонт, – При турбированном двигателе возможен повышенный расход масла	–Сложное и дорогое обслуживание, – Долгий прогрев двигателя, – Высокое давление в цилиндрах, – Тщательный подбор масла	– Ограниченный запас хода, – Дорогая замена батареи, – Экологические аспекты производства и утилизации	– Ограниченный запас хода (обычно 300–500 км) – Долгая зарядка (8–12 ч) – Пониженный запас хода зимой(из–за обогрева авто), – Дорогая замена батареи, – Увеличенная масса

Электромобили обладают значительным преимуществом в плане обслуживания. Однако электромобилю или гибридному автомобилю может потребоваться ремонт или замена батареи, но в свою очередь это во благо экологии и ее защите, в то время как традиционные автомобили с ДВС, несмотря на их надежность, требуют постоянных затрат на техническое обслуживание (ТО), которые включают замену масла, фильтров, ремней и различных технических жидкостей: это антифриз и трансмиссионная жидкость,

электромобили нуждаются в гораздо меньшем уходе и сохраняют нашу экологию. Основное обслуживание электромобиля заключается заменой салонного фильтра и сезонной проверкой шин. Более того, благодаря системе рекуперации, износ тормозных компонентов, таких как диски и колодки, происходит значительно медленнее, что позволяет реже производить их замену. Исходя из этого, эксплуатационные расходы на электромобиль значительно ниже [7].

В настоящее время ситуация в Российской Федерации характеризуется следующим образом: несмотря на рост стоимости зарядки на общественных станциях, эксплуатация электромобилей остается существенно выгоднее использования автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). В 35 регионах России владельцы электротранспорта освобождены от уплаты транспортного налога, что является значимым преимуществом, особенно с учетом высокой мощности двигателей многих электромобилей. Кроме того, в Москве и Санкт–Петербурге владельцам электромобилей предоставлена возможность бесплатной парковки на муниципальных стоянках и в пределах улично–дорожной сети (за исключением частных территорий). В ряде крупных городов таких как Сочи, Краснодар, Казань, Белгород, Воронеж и других предусмотрены отдельные бесплатные парковочные зоны вблизи зарядных станций, для использования которых требуется оформление электронного разрешения через портал «Госуслуги» или МФЦ. Обслуживание электромобилей также имеет свою специфику по сравнению с традиционными автомобилями. Таким образом, по совокупности эксплуатационных характеристик электромобиль демонстрирует ряд преимуществ для потребителя. Несмотря на то, что гибридные и классические автомобили остаются более привычными для современного рынка, именно за электромобилем будущее транспортной отрасли.

Долгосрочные выгоды от активного использования электротранспорта для РФ носят структурный характер: переход от зависимости от колебаний цен на нефть к контролируемым затратам на электроэнергию, от выхлопных газов к улучшению городского воздуха, от традиционного автомобилестроения к участию в цепочке поставок электротранспорта. Однако темпы и глубина этой трансформации зависят от реализации двух ключевых переменных – равномерного расширения зарядной инфраструктуры и фактического запуска локального производства батарей и автомобилей. На фоне ускорения глобальной электрификации РФ, продолжая наблюдать со стороны, рискует оказаться на периферии автомобильной промышленности следующего поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хузмиев, И. К. Электроавтомобилизация – реальный шанс модернизации экономики России / И. К. Хузмиев // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 4(21). – С. 107–111.

2. Сторожева, О. В. Перспективы развития «зеленой логистики» / О. В. Сторожева, С. В. Дорохин, А. А. Чепрасова // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4–3(87). – С. 127–133. – DOI 10.33979/2073–7432–2024–4–3(87)–127–133.

3. Дуганова, Е. В. Сервис и эксплуатация транспортных средств в условиях цифровой трансформации : учебное пособие / Е. В. Дуганова, И. А. Новиков, Н. А. Загородний. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 138 с. – ISBN 978–5–4497–1614–9.

4. Электромобильный и гибридный транспорт: силовые схемы, оборудование, проблемы и перспективы развития / Е. З. Амангалиев, А. С. Сарваров, В. И. Косматов [и др.] // Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – № 1(54). – С. 19–28. – DOI 10.18503/2311–8318–2022–1(54)–19–28.

5. Синергия силовых агрегатов и легких материалов как новый рубеж энергоэффективности автотранспортного средства / И. В. Терехина, Ф. А. Шакина, С. А. Швырев [и др.] // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте – 2025 : Материалы Международной молодежной научно–практической конференции, посвященной 95–летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 23–24 октября 2025 года. – Воронеж:

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 204–208. – DOI 10.58168/MSTT2025_204–208.

6. Безотечество, В. А. Будущее гибридных автомобилей в условиях глобальной электрификации / В. А. Безотечество // Молодой ученый. – 2025. – № 6(557). – С. 84–86.

7. Нормативные требования к конструкции и безопасности колесных транспортных средств, осуществляющих деятельность в транспортно–логистическом комплексе страны / А. Н. Новиков, И. А. Новиков, А. Г. Шевцова [и др.]. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – 145 с.

REFERENCES

1. Khuzmiev, I. K. Electrification of Road Transport: A Real Opportunity for Modernizing Russia’s Economy / I. K. Khuzmiev // Bulletin of Civil Engineers. – 2009. – No. 4(21). – P. 107–111.

2. Storozheva, O. V. Prospects for the Development of "Green Logistics" / O. V. Storozheva, S. V. Dorokhin, A. A. Cheprasova // World of Transport and Technological Machines. – 2024. – No. 4–3(87). – P. 127–133. – DOI 10.33979/2073–7432–2024–4–3(87)–127–133.

3. Duganova, E. V. Vehicle Service and Operation in the Context of Digital Transformation: A Study Guide / E. V. Duganova, I. A. Novikov, N. A. Zagorodny. – Moscow : IPR Media, 2022. – 138 p. – ISBN 978–5–4497–1614–9.

4. Electric and Hybrid Vehicles: Power Circuits, Equipment, Challenges, and Development Prospects / E. Z. Amangaliev, A. S. Sarvarov, V. I. Kosmatov [et al.] // Electrotechnical Systems and Complexes. – 2022. – No. 1(54). – P. 19–28. – DOI 10.18503/2311–8318–2022–1(54)–19–28.

5. Synergy of powertrains and lightweight materials as a new frontier in vehicle energy efficiency / I. V. Terekhina, F. A. Shakina, S. A. Shvyrev [et al.] // Prospects for Development, Innovations, and Information Technologies in Transport – 2025: Proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference dedicated to the 95th anniversary of G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh, October 23–24, 2025. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, 2025. – P. 204–208. – DOI 10.58168/MSTT2025_204–208.

6. Bezotechestvo, V. A. The future of hybrid vehicles in the context of global electrification / V. A. Bezotechestvo // Molodoy Ucheny [Young Scientist]. – 2025. – No. 6(557). – P. 84–86.

7. Regulatory requirements for the design and safety of wheeled vehicles operating within the country's transport and logistics complex / A. N. Novikov, I. A. Novikov, A. G. Shevtsova [et al.]. – Belgorod: V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, 2021. – 145 p.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_187-193
УДК 656.132:621.311

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ЗАРЯДНЫХ ПОСТОВ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ГОРОДСКИХ МАРШРУТОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ТЯГУ

Р.В. Филиппова[1], Д.Ю. Михайлов[2]
[1]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Россия, FilippovaRV@transport.mos.ru
[2]Организатор перевозок, г. Москва, Россия, mikhaylovdy@transport.mos.ru

Аннотация. В работе рассмотрено определение необходимого количества подвижного состава и зарядных постов при переводе маршрута наземного городского пассажирского транспорта общего пользования на электрическую тягу. Установлено, что классические соотношения расчёта выпуска не содержат элемента, отражающего зарядную сессию. Предложена расчётная схема, связывающая выпуск, число зарядных постов и приписку маршрута к отстойно–разворотным и эксплуатационным площадкам, с раздельным расчётом для летнего и зимнего режимов.

Ключевые слова: электробус, электрическая тяга, оборотный рейс, зарядная сессия, ультрабыстрая зарядная станция, необходимое количество подвижного состава, интервал движения, отстойно–разворотная площадка.

DETERMINATION OF THE REQUIRED NUMBER OF VEHICLES AND CHARGING POSTS WHEN CONVERTING URBAN ROUTES TO ELECTRIC TRACTION

R.V. Filippova[1], D.Yu. Mikhailov[2]
[1]Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, FilippovaRV@transport.mos.ru
[2] Organizator Perevozok, Moscow, Russia, mikhaylovdy@transport.mos.ru

Abstract. The determination of the required number of vehicles and charging posts for converting an urban public passenger transport route to electric traction is considered. It is established that the classical relationships for calculating the fleet requirement contain no element representing the charging session. A calculation scheme is proposed linking the fleet size, the number of charging posts and the assignment of the route to charging sites, with separate calculations for summer and winter operating modes.

Keywords: electric bus, electric traction, round trip, charging session, ultra–fast charging station, required number of vehicles, headway, layover and turnaround site.

Введение

Наземный городской пассажирский транспорт общего пользования города Москвы переводится на электрическую тягу планомерно. Парк электробусов города превысил 2200 единиц и обслуживается на двенадцати площадках. Программой развития транспортного комплекса до 2030 года предусмотрено увеличение парка до 5300 единиц и поставка 1000 ультрабыстрых зарядных станций, а в разделе повышения эффективности сети закреплено увеличение доли электробусов до выполнения ими 100 % транспортной работы [1]. Переход начался с замещения троллейбусных маршрутов и сформировал двухуровневую систему зарядной инфраструктуры: ультрабыстрые зарядные станции

© Филиппова Р. В., Михайлов Д. Ю., 2026

размещаются на эксплуатационных площадках парков и на отстойно–разворотных площадках маршрутов [2]. Перевод перестаёт быть выбором отдельных маршрутов и требует расчётного обоснования для сети целиком.

Необходимое количество транспортных средств на маршруте определяется зависимостями, принятыми в организации пассажирских перевозок: оно связано с максимальной мощностью пассажиропотока, номинальной вместимостью, коэффициентом наполнения и временем оборотного рейса, интервал движения равен отношению времени оборотного рейса к числу транспортных средств, а само время оборотного рейса складывается из времени движения, суммарного простоя на остановочных пунктах для пассажирообмена и технологического отстоя на конечных пунктах [3]. Тот же порядок закреплён в методических документах планирования регулярных перевозок [4]. Вид тяги ни в одном из этих соотношений не фигурирует, а пополнение запаса энергии в состав времени, входящего во время оборотного рейса, не закреплено.

Отсутствие такого элемента объясняется условиями, для которых эти зависимости выведены. Дизельный или газовый автобус также заправляется в течение смены, и при большом суточном пробеге в расписание вносят одну–две дозаправки. Различие между видами тяги количественное и определяется запасом хода: у городского электробуса фактическая дальность хода составляет 80–150 км против нескольких сотен километров у дизельного автобуса того же класса [5]. Отсюда и частота операции: на один выход приходится от трёх до пяти зарядных сессий по 10–20 мин.

Зимой различие усиливается с обеих сторон. По результатам замеров в эксплуатации удельный расход электробуса ЛиАЗ–6274.00 растёт с 87,0–99,7 кВт·ч на 100 км при температурах от плюс 6 до плюс 26 °С до 108,2–126,7 кВт·ч при плюс 5 °С и ниже, то есть примерно на четверть, и определяющее влияние оказывает работа систем обогрева тяговой батареи и салона, а не температура сама по себе [5]. Одновременно увеличивается время зарядной сессии, о чём прямо говорится в руководстве по эксплуатации. Обе величины действуют в одну сторону, поэтому предельные требования к ресурсам маршрута определяет зимний режим.

Организационно перевод означает изменение сведений реестра маршрутов: Федеральный закон № 220–ФЗ относит к ним виды, классы и экологические характеристики транспортных средств, а также максимальное количество средств каждого класса, допускаемое к использованию на маршруте [6]. Закон требует указать и вид, и количество, но не устанавливает, как определять это количество при смене вида тяги.

В научной литературе задача решена в постановке «пригоден – непригоден». А. Д. Горбунова и О. Ю. Смирнова отбирают рациональный маршрут по пяти ограничениям, среди которых неизменность графика движения и наличие на конечной станции парковочного места площадью 72–118 м² для отстоя во время сессии; на пяти маршрутах г. Тюмени два признаны нерациональными [7]. М. Тесар с соавторами построили имитационную модель подсистем «транспортное средство – эксплуатация – инфраструктура» и на её основе методику проектирования электрификации линии [8]. Маршрут, не прошедший проверку, в обеих работах исключается, а вопрос о том, каким количеством подвижного состава и зарядных постов его можно перевести, не ставится.

Цель работы – предложить расчётную схему, определяющую для конкретного маршрута необходимое количество подвижного состава и зарядных постов и указывающую приписку маршрута к ОРП или ЭП с ультрабыстрыми зарядными станциями, при которой это количество обеспечивается.

Методика расчёта

Зарядная сессия в цикле оборотного рейса. Время оборотного рейса принимается по действующему расписанию: оно уже учитывает фактические условия движения

и пассажирообмена на маршруте. При электрической тяге к нему добавляется та часть зарядной операции, которая не покрывается межрейсовой стоянкой:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{об}} + max\,(0;\, t_{\text{зс}} + t_{\text{под}} - t_{\text{мс}}) \quad (1)$$

где $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла оборотного рейса при электрической тяге, мин; $t_{\text{об}}$ – время оборотного рейса по расписанию, мин; $t_{\text{мс}}$ – межрейсовая стоянка на конечной станции, мин; $t_{\text{зс}}$ – продолжительность зарядной сессии, мин; $t_{\text{под}}$ – суммарное время подачи на зарядную площадку и возвращения, мин.

Если ультрабыстрая зарядная станция расположена на конечной отстойно–разворотной площадке маршрута, слагаемое $t_{\text{под}}$ обращается в нуль, и при $t_{\text{зс}} \leq t_{\text{мс}}$ цикл не меняется. Если станции нет, в расписание вносятся подача на зарядную площадку и возвращение, занимающие линейное время наравне с самой сессией.

Необходимое количество подвижного состава. Оно определяется по мощности пассажиропотока с подстановкой цикла (1) вместо времени оборотного рейса:

$$A = \frac{Q_{max} \cdot t_{\text{ц}}}{q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot 60} \quad (2)$$

где A – необходимое количество транспортных средств, ед.; Q_{max} – максимальная мощность пассажиропотока, пасс./ч; $q_{\text{н}}$ – номинальная вместимость, пасс.; $\gamma_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения.

Цикл входит в числитель, поэтому его удлинение переходит в необходимое количество подвижного состава прямо пропорционально:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{t_{\text{ц}} - t_{\text{об}}}{t_{\text{об}}} \quad (3)$$

Каждый процент линейного времени, отданный зарядной операции, требует того же процента подвижного состава. Формально можно оставить выпуск прежним и допустить рост интервала, но среднее время ожидания пассажира складывается из половины интервала, добавки за отклонения от планового интервала и потерь от отказа в посадке и растёт быстрее самого интервала [3]. Поэтому интервал удерживают на уровне, дающем приемлемое время ожидания, а прирост цикла компенсируют выпуском.

Продолжительность зарядной сессии и сезонный режим. Восполняемая за оборот энергия определяется длиной оборотного рейса и удельным расходом, а время сессии – мощностью станции с поправкой на нелинейность профиля заряда:

$$t_{\text{зс}} = \frac{60 \cdot L_{\text{об}} \cdot w(\theta) \cdot k_{\text{нл}}}{P_{\text{з}} \cdot \eta} \quad (4)$$

где $L_{\text{об}}$ – длина оборотного рейса, км; $w(\theta)$ – удельный расход при сезонном режиме θ, кВт·ч/км; $P_{\text{з}}$ – мощность зарядной станции, кВт; η – коэффициент полезного действия зарядного тракта; $k_{\text{нл}}$ – коэффициент нелинейности профиля заряда.

Порядок величин задают паспортные данные: у электробуса КАМАЗ–6282 энергоёмкость батареи 201,39 кВт·ч при доступной энергии 161,11 кВт·ч, ультрабыстрая зарядка при мощности 300 кВт и температуре плюс 25 °С в диапазоне от 17 до 95 % занимает не более 45 мин. Расчёт по (1)–(4) выполняется дважды: определение необходимого количества только по зимнему режиму создаёт летом избыточный выпуск и простой постов, по среднегодовому – дефицит зимой.

Пропускная способность зарядной площадки. Выпуск маршрута создаёт поток требований на зарядку, который обслуживает конечное число постов. Необходимое их количество определяется суммарной нагрузкой всех приписанных к площадке маршрутов:

$$N_{\text{п}} \geq \frac{1}{k_{\text{и}}} \cdot \sum\left(\frac{A_m \cdot t_{\text{зс},m}}{t_{\text{ц},m}}\right) \quad (5)$$

где $N_{\text{п}}$ – необходимое количество зарядных постов, ед.; $k_{\text{и}}$ – коэффициент использования поста, учитывающий неравномерность подхода и резерв на отказ; m – номер маршрута, приписанного к площадке.

Второе ограничение – вместимость площадки: требуемая площадь стоянки составляет 72–118 м² на единицу подвижного состава, откуда условие $S_{\text{пл}} \geq s_1 \cdot n_{\text{одн}}$, где $S_{\text{пл}}$ – пригодная для размещения площадь, м²; s_1 – потребная площадь на единицу; $n_{\text{одн}}$ – максимальное число электробусов, одновременно находящихся на площадке [7]. В зарубежных работах ограничения площадки вводятся как условия оптимизационной задачи: продолжительность зарядной сессии входит в модель переменной, число постов и доступная электрическая мощность – ограничениями, а искомым решением служит график зарядных сессий для заданного парка [9]. Задача, следовательно, ставится уже после перевода: ресурсы известны, распределяется время. Здесь ставится обратная задача – определить сами ресурсы.

Выбор площадки для зарядки маршрута. Маршрут закрепляется за одной площадкой; если УБЗС размещены на обоих конечных остановочных пунктах, сессии могут распределяться между двумя ОРП. Разделение выпуска между удалёнными площадками переводит задачу в разряд оптимизационных и в данной работе не рассматривается. Чтобы площадки могли служить местом для проведения зарядных сессий, они должны быть доступными по территориальному и энергетическому признаку: первый означает расположение в пределах допустимого времени подачи от трассы маршрута, поскольку это время входит в (1) и через (2) увеличивает выпуск, второй – наличие свободной ёмкости постов, не занятой действующими маршрутами. Полностью загруженная площадка удовлетворяет территориальному признаку, но не энергетическому. Если таких площадок нет, остаётся строительство новых УБЗС – капитальные вложения, присоединение к сети и согласование размещения.

Апробация

Расчёт выполнен для маршрута № е30 «4–й микрорайон Митина – Метро «Китай–город»», который обслуживают сочленённые автобусы ЛиАЗ–6213.65 вместимостью 153 пассажира. По сводному расписанию буднего дня выполняется 244 рейса при выпуске 23 машин, длина оборотного рейса 45,5 км, его время меняется от 122 мин в ранние часы до 166 мин вечером. Средний суточный пассажиропоток по восемнадцати будним дням сентября 2026 года – 24713 пассажиров.

Коэффициент наполнения принят равным 0,9: такой уровень считается рациональным, поскольку оставляет резерв провозной способности на колебания спроса внутри часа. Число перевезённых за один рейс пассажиров определяется отношением суточного пассажиропотока к числу рейсов:

$$q_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{N_{\text{ф}}} = \frac{24\,713}{244} = 101{,}3 \text{ пасс.}$$

Это 0,66 номинальной вместимости сочленённого автобуса. При наполнении 0,9 маршруту достаточно 180 рейсов, семнадцати машин и интервала до 9,8 мин – в пределах норматива 10 мин для магистральных маршрутов. Действующее расписание плотнее на треть, и разница расходуется на пиковый час, профиль которого в суточной сумме не виден.

Замена выполняется электробусом большого класса КамАЗ–52222 поколения А5 вместимостью 85 пассажиров, который уже эксплуатируется в городе. Особо большой класс в электрическом исполнении серийно не поставляется, поэтому вместимость снижается, а необходимое число рейсов рассчитывается по формуле (2):

$$N_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{q_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{н}}} = \frac{24\,713}{85 \cdot 0{,}9} = 324 \text{ рейса}.$$

Выпуск увеличивается пропорционально – с 23 до 31 единицы при интервале 3,9–5,4 мин. Отношение вместимостей 153/85 = 1,80 неприменимо: оно сохраняло бы использование вместимости 0,66 и давало 42 машины, которых пассажиропоток не требует.

Заряжаться маршрут может только на эксплуатационной площадке «Митино» – единственной с ультрабыстрыми станциями в зоне территориальной доступности маршрута; стоянка на Китай–городе продолжительностью 1–2 мин значительно меньше, чем продолжительность зарядной сессии. Манёвр от конечного пункта «4–й микрорайон Митина» – 6,6 км и 13 мин, обратный технологический рейс – 7,1 км и 14 мин.

Число сессий определяется суточным энергетическим балансом и различается по сезонам. При 324 рейсах суточный пробег составляет 7792 км, на машину – 251,4 км. Летом при удельном расходе 0,997 кВт·ч/км маршрут потребляет 7769 кВт·ч, зимой при 1,267 кВт·ч/км – 9873 кВт·ч, а ночная зарядка восполняет 4994 кВт·ч на весь выпуск. Энергия одной зарядной сессии рассчитывается по формуле (4):

$$E_{\text{с}} = P_{\text{з}} \cdot \frac{t_{\text{зс}}}{60} \cdot \eta \cdot k_{\text{нл}} = 300 \cdot \frac{20}{60} \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}85 = 79{,}0 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Число линейных сессий за сутки равно отношению непокрытого остатка энергии к энергии одной сессии:

$$n_{\text{с}}(\text{лето}) = \frac{E_{\text{сут}} - E_{\text{ноч}}}{E_{\text{с}}} = \frac{7\,769 - 4\,994}{79{,}0} = 36 \text{ сессий};$$

$$n_{\text{с}}(\text{зима}) = \frac{9\,873 - 4\,994}{79{,}0} = 62 \text{ сессии}.$$

Суточная нагрузка на площадку и необходимое число зарядных постов рассчитываются по формуле (5):

$$R(\text{лето}) = \frac{n_{\text{с}} \cdot t_{\text{зс}}}{60} = \frac{36 \cdot 20}{60} = 12{,}0 \text{ поста} - \text{часа};$$

$$N_{\text{п}} = \frac{12{,}0}{19 \cdot 0{,}7} = 0{,}90;$$

$$R(\text{зима}) = \frac{62 \cdot 20}{60} = 20{,}7 \text{ поста} - \text{часа};$$

$$N_{\text{п}} = \frac{20{,}7}{19 \cdot 0{,}7} = 1{,}56.$$

Летом маршруту достаточно одного поста, зимой необходимы два.

Площадка «Митино» может вместить в себя эти сессии. На ней заряжаются десять маршрутов – 210, 328, 356, 359, 368, 451, 930, н12, с331 и с396, – суммарно 105 выходов и 354 сессии по 14–32 мин, то есть 111,2 поста–часа из 146,3 располагаемых. Потребность е30 в оставшиеся 35,1 укладывается: занятость поднимется до 90 % зимой и 84 % летом. Вместимость площадки ограничением не становится: с маршрутом е30 на ней одновременно окажутся пятнадцать–шестнадцать машин, а требуемая площадь стоянки рассчитывается по условию вместимости площадки:

$$S_{\text{треб}} = s_1 \cdot n_{\text{одн}} = 118 \cdot 16 = 1888 \text{ м}^2.$$

Такая площадь обеспечена самим размещением тридцати семи постов, каждому из которых отведено место для транспортного средства. После подключения е30 у площадки остаётся 14,4 поста–часа зимой и 23,1 летом, что соответствует 43 и 69 зарядным сессиям, или примерно двадцати машинам зимнего режима. Этого хватит ещё на один маршрут сопоставимого размера, но лишь после корректировки расписаний.

Без станции на конечном остановочном пункте операция выполняется на площадке целиком: подача 13 мин, сессия 20 мин и возвращение 14 мин, всего 47 мин, из которых на межрейсовый отстой отведено 20 мин. Цикл растёт на 27 мин за сессию, а в пересчёте на оборотный рейс прирост рассчитывается по формуле (1):

$$\Delta t_{\text{ц}}(\text{лето}) = \frac{n_{\text{с}} \cdot \Delta t_{\text{оп}}}{A \cdot z_{\text{об}}} = \frac{36 \cdot 27}{31 \cdot 5{,}52} = 5{,}7 \text{ мин};$$

$$\Delta t_{\text{ц}}(\text{зима}) = \frac{62 \cdot 27}{31 \cdot 5{,}52} = 9{,}8 \text{ мин}.$$

По (3) выпуск поднимается с 31 до 32 единиц летом и 33 зимой при 849 км непроизводительного пробега за зимние сутки (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты расчёта по маршруту е30 (будний день)

Table 1 – Calculation results for route e30 (weekday)

Показатель	Лето	Зима
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/км	0,997	1,267
Суточный расход по маршруту, кВт·ч	7769	9873
Линейных зарядных сессий за сутки	36	62
Нагрузка на площадку, поста–часов	12,0	20,7
Необходимое число зарядных постов	1	2
Занятость площадки с маршрутом е30, %	84	90
Выпуск со станцией / без неё, ед.	31 / 32	31 / 33

Расчёт ведётся по среднесуточному пассажиропотоку, однако коэффициент наполнения 0,9 оставляет запас провозной способности на рост спроса в пиковый час.

Выводы

1. Зарядная сессия входит в цикл оборотного рейса электробуса, тогда как принятые зависимости расчёта выпуска этого технологически значимого элемента не содержат: дизельному автобусу планируют одну–две дозаправки за смену, электробусу – минимум две–три сессии.

2. Необходимое количество транспортных средств при переводе определяется пассажиропотоком, а не отношением вместимостей: для маршрута е30 отношение вместимостей дало бы 42 электробуса, а расчёт от фактического объёма перевозок при наполнении 0,9 – 31 машину.

3. Выпуск определяется вместимостью и пассажиропотоком: при 31 машине интервал 3,9–5,4 мин против норматива 10 мин, то есть требование к интервалу выполняется с запасом.

4. Зарядная сессия вместе с манёвром не увеличивает цикл, пока сумма продолжительности сессии и времени подачи не превышает межрейсовый остой. Без зарядной станции на конечном пункте она занимает 47 мин против двадцатиминутной стоянки и добавляет одну–две машины и 849 км непроизводительного пробега за зимние сутки ($t_{\text{зс}} + t_{\text{под}} \leq t_{\text{мс}}$).

5. Ёмкость площадки ограничивают не число станций и не её вместимость: на «Митино» установлено 37 постов, но одновременно работают одиннадцать. Для е30 суточного ресурса достаточно, после подключения остаётся 14,4 поста–часа зимой – ещё на один маршрут сопоставимого размера, но только после корректировки расписаний.

Дальнейшая работа направлена на доведение расчётной схемы до графоаналитического вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа развития Транспортного комплекса Москвы 2030. – Москва, 2023. – 93 с. – URL: https://www.sobyanin.ru/rtkm–2030.
2. Филиппова Р. В., Феньков И. А. Эволюция декарбонизации наземного городского пассажирского транспорта общего пользования г. Москвы // Вестник СибАДИ. – 2025. – Т. 22, № 5. – С. 786–802. – DOI 10.26518/2071–7296–2025–22–5–786–802. – EDN ONDBUU.
3. Рощин А. И., Жуков А. И., Акопов Ф. В. Сборник задач по курсу «Технология пассажирских перевозок» : практикум. – Москва : МАДИ, 2016. – 32 с.
4. Методические рекомендации по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа. – Утв. Минтрансом России 30.06.2020. – URL: https://mintrans.gov.ru/documents/10/10574.
5. Chikishev E. M. Impact of natural and climatic conditions on electric energy consumption by an electric city bus // Transportation Research Procedia. – 2021. – Vol. 57. – P. 113–121. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.032.
6. Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации : Федеральный закон от 13.07.2015 № 220–ФЗ. – Ст. 26.
7. Горбунова А. Д., Смирнова О. Ю. Разработка алгоритма выбора рационального регулярного городского маршрута для эксплуатации электробуса // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 4 (80). – С. 378–389. – DOI 10.26518/2071–7296–2021–18–4–378–389.
8. Tesar M., Berthold K., Gruhler J.–P., Gratzfeld P. Design Methodology for the Electrification of Urban Bus Lines with Battery Electric Buses // Transportation Research Procedia. – 2020. – Vol. 48. – P. 2038–2055. – DOI 10.1016/j.trpro.2020.08.264.
9. Jia Z., An K. Multi–depot battery electric bus scheduling and charging coordination under resource limitations // Applied Energy. – 2025. – Vol. 398. – Art. 126444. – DOI 10.1016/j.apenergy.2025.126444.

REFERENCES

1. Moscow Transport Complex Development Program 2030. Moscow, 2023. 93 p. URL: https://www.sobyanin.ru/rtkm–2030.
2. Filippova R. V., Fenkov I. A. Evolution of decarbonization of urban public transport in Moscow // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2025. Vol. 22, no. 5. Pp. 786–802. DOI 10.26518/2071–7296–2025–22–5–786–802.
3. Roshchin A. I., Zhukov A. I., Akopov F. V. Collection of problems for the course “Passenger Transportation Technology”. Moscow, MADI, 2016. 32 p.
4. Guidelines for the development of the Planning Document for regular passenger transportation. Moscow, Ministry of Transport of the Russian Federation, 2020.
5. Chikishev E. M. Impact of natural and climatic conditions on electric energy consumption by an electric city bus // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 57. Pp. 113–121.
6. On the organization of regular passenger transportation by road and urban ground electric transport in the Russian Federation: Federal Law No. 220–FZ of 13.07.2015. Art. 26.
7. Gorbunova A. D., Smirnova O. Yu. Development of an algorithm for selecting a rational urban route for electric bus operation // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2021. Vol. 18, no. 4. Pp. 378–389.
8. Tesar M., Berthold K., Gruhler J.–P., Gratzfeld P. Design Methodology for the Electrification of Urban Bus Lines with Battery Electric Buses // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 48. Pp. 2038–2055.
9. Jia Z., An K. Multi–depot battery electric bus scheduling and charging coordination under resource limitations // Applied Energy. 2025. Vol. 398. Art. 126444.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_194-197
УДК 662.659:621.431–6

БИОТОПЛИВО ИЗ ОТХОДОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Р.Д. Яцюта[1], Т.Н. Стородубцева[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г. Ф. Морозова, Россия, Воронеж

Аннотация: Рассмотрена проблема утилизации отходов лесопромышленного комплекса. Показано, что опилки, щепа и кора могут служить сырьём для получения биотоплива. Описаны основные технологии: пеллеты, биоэтанол, биодизель. Приведены данные по использованию биотоплива на автомобильном транспорте. Оценён экологический и экономический эффект. Сделан вывод о перспективности этого направления для России.

Ключевые слова: биотопливо, отходы лесопромышленного комплекса, пеллеты, биоэтанол, биодизель, альтернативные источники энергии, автомобильный транспорт, утилизация отходов.

BIOFUEL FROM TIMBER INDUSTRY WASTE FOR ROAD TRANSPORT

R.D. Yatsyuta[1], T.N. Storodubtseva[1],
Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russia, Voronezh

Abstract. The problem of recycling waste from the timber industry is considered. It is shown that sawdust, wood chips and bark can serve as raw materials for biofuel production. The main technologies are described: pellets, bioethanol, biodiesel. Data on the use of biofuels in road transport are given. The environmental and economic effect is evaluated. A conclusion is made about the prospects of this direction for Russia.

Keywords: biofuel, timber industry waste, pellets, bioethanol, biodiesel, alternative energy sources, road transport, waste recycling.

Введение

Лесопромышленный комплекс России ежегодно образует миллионы тонн отходов. Это опилки, щепа, кора, горбыль, древесная пыль. Большая часть этого сырья либо сжигается, либо вывозится на свалки. При этом отходы ЛПК – это ценный ресурс, из которого можно получать биотопливо. По данным отраслевых исследований, объём неиспользуемых древесных отходов в России достигает 30–40 млн тонн в год [1, 2].

С другой стороны, автомобильный транспорт остаётся одним из главных потребителей нефтяного топлива и источником выбросов CO_2. По данным источников, на долю автотранспорта приходится около 20 % всех выбросов парниковых газов в стране [3]. Замена части традиционного топлива на биотопливо позволила бы снизить и экологическую нагрузку, и зависимость от нефти. Биотопливо из отходов ЛПК – это не новая идея. В Европе, США, Бразилии оно давно используется. В России же, несмотря на огромные запасы сырья, это направление пока развито слабо. Причины разные: нет инфраструктуры, высокая стоимость переработки, недостаток стимулов.

Но ситуация меняется – появляются новые технологии, растёт интерес к «зелёной» энергетике, государство принимает программы поддержки.

© Яцюта Р. Д., Стородубцева Т. Н., 2026

В этой статье мы рассмотрим, какие виды биотоплива можно получать из отходов лесопромышленного комплекса, как их можно применять на автомобильном транспорте и какой эффект это даёт – экологический и экономический.

Виды биотоплива из отходов лесопромышленного комплекса

Из древесных отходов можно получать несколько видов топлива. Они различаются по агрегатному состоянию, технологии и области применения.

Твёрдое биотопливо. Это пеллеты и брикеты. Их делают из опилок, щепы, коры путём прессования под высоким давлением. Пеллеты используют для отопления, но их можно применять и как сырьё для дальнейшей переработки – например, для газификации. Теплота сгорания пеллет – 16–18 МДж/кг, что сопоставимо с бурым углём [2].

Жидкое биотопливо. Сюда относятся биоэтанол и биодизель. Биоэтанол получают из целлюлозы, которая содержится в древесине. Для этого сырьё проходит гидролиз, потом сбраживание, потом дистилляцию. Биодизель из древесных отходов получают реже – чаще его делают из растительных масел. Но есть технологии, которые позволяют перерабатывать лигнин в жидкое топливо.

Газообразное биотопливо. Это синтез–газ и биогаз. Синтез–газ получают при газификации древесины – нагреве без доступа кислорода. Из него можно производить метанол или использовать напрямую в газовых двигателях. Биогаз образуется при разложении органики без кислорода, но для древесных отходов этот путь менее эффективен [2].

Сравнение характеристик видов биотоплива представлено в таблице 1 [1,2].

Таблица 1 – сравнение видов биотоплива
Table 1 − comparison of biofuel types

Вид биотоплива	Сырьё	Теплота сгорания	Применение в транспорте
Пеллеты	Опилки, щепа, кора	16–18 МДж/кг	Косвенно
Биоэтанол	Целлюлоза древесины	~27 МДж/кг	Добавка к бензину (E5, E10, E85)
Биодизель	Лигнин, жиры	~25 МДж/кг	Добавка к бензину (B5, B20)
Синтез–газ	Древесина (газификация)	Зависит от состава	Газовые двигатели, метанол
Бионефть	Опилки, щепа	~27 МДж/кг	Сырьё для моторного топлива

Технологии получения

Можно выделить два основных способа переработки древесных отходов. Термохимические методы. Сюда относятся методы получения биотоплива путем обработки отходов различными температурами. Например – пиролиз. Это нагрев сырья до температуры около 400–600 ºС, при этом без кислорода. На выходе получают жидкое топливо (бионефть), газ и уголь. Другой метод – газификация. Тут уже нагрев до 800–1000 ºС, с ограниченным доступом кислорода. В результате получают синтез–газ. И самый простой метод – это прямое сжигание. Дает только тепло, а не топливо.

Биохимические методы. Это, например, ферментация. Этот метод подразумевает процесс разложения целлюлозы ферментами с последующим сбраживанием. Так получают биоэтанол. Также существует анаэробное сбраживание. Оно используется для влажных отходов, даёт биогаз.

Применение на автомобильном транспорте

Биотопливо можно использовать на автотранспорте несколькими способами. Биоэтанол добавляют в бензин в пропорции 5–10 % (топливо Е5, Е10). В Бразилии и США используют смеси с содержанием этанола до 85 % (Е85). Для этого нужны двигатели с изменённой системой питания. В России биоэтанол пока применяется ограниченно [4].

Биодизель добавляют в дизельное топливо в пропорции 5–20 %. Биодизель из древесных отходов – редкость, но лигнин можно перерабатывать в жидкие углеводороды. Такое топливо подходит для грузовых автомобилей и автобусов [5].

Синтез–газ и метанол. Синтез–газ можно использовать в газовых двигателях. Метанол – как добавка к бензину или как самостоятельное топливо. Из древесных отходов метанол получают через газификацию и синтез [4,6].

Твёрдое биотопливо. Пеллеты напрямую в автомобилях не используют, но их применяют для отопления производственных помещений и сушки сырья. Это косвенно снижает затраты на эксплуатацию автопарка.

Сравнение теплоты сгорания представлено на рисунке 1.

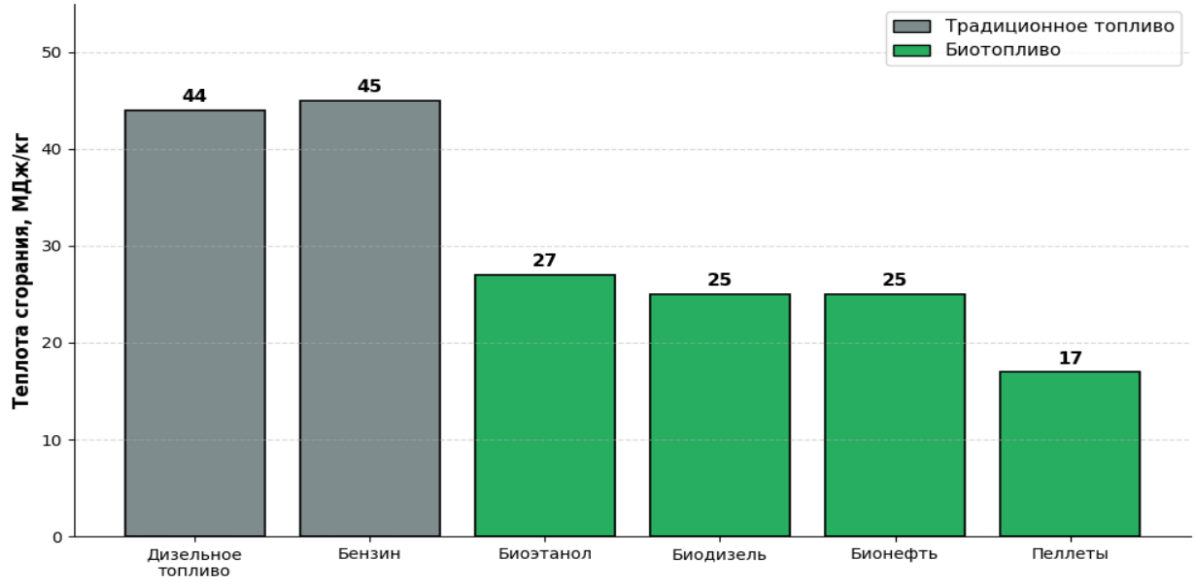


Рисунок 1 – Сравнение теплоты сгорания различных видов топлива
Figure 1 − Comparison of the heat of combustion of various types of fuel

Заключение

Мы рассмотрели, как отходы лесопромышленного комплекса можно превращать в биотопливо для автомобильного транспорта. Вот какие выводы можно сделать.

Во–первых, отходы ЛПК – это ценный ресурс, а не мусор. Опилки, щепа, кора, горбыль могут стать сырьём для пеллет, биоэтанола, биодизеля или синтез–газа. Объём неиспользуемых отходов в России – десятки миллионов тонн в год. Если хотя бы часть этого сырья пустить в переработку, это даст и топливо, и рабочие места, и снижение нагрузки на полигоны.

Во–вторых, технологии уже существуют. Пиролиз, газификация, ферментация – это не фантастика, а работающие методы. Пеллетное производство в России развито хорошо. С биоэтанолом и биодизелем из древесины сложнее: высокая стоимость, нехватка мощностей, недостаток стимулов. Но эти проблемы решаемы.

В–третьих, биотопливо можно применять на транспорте. Биоэтанол добавляют в бензин, биодизель – в дизельное топливо. Синтез–газ и метанол используют в газовых

двигателях. В России это пока ограниченно, но в Бразилии, США и Европе такие смеси – обычная практика.

В–четвёртых, эффект от биотоплива двойной. Экологический: снижение выбросов CO_2 и утилизация отходов. Экономический: меньше зависимости от нефти, меньше затрат на топливо в перспективе, поддержка местных производителей.

Главный вывод: биотопливо из отходов ЛПК – это перспективное направление для России. Оно позволяет решить сразу несколько задач: утилизировать отходы, получить альтернативное топливо и снизить экологическую нагрузку. Для внедрения нужны инвестиции, инфраструктура и поддержка государства. Но первые шаги уже делаются, и это направление будет развиваться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лесной комплекс России: состояние и перспективы развития : монография / под ред. Н. А. Моисеева. – Москва : Юрайт, 2023. – 318 с. – ISBN 978–5–534–14567–8.

2. Биоэнергетика: технологии и оборудование : учебное пособие / В. М. Кравченко, А. И. Тихомиров. – Санкт–Петербург : Лань, 2022. – 240 с. – ISBN 978–5–8114–9123–4.

3. Экологические аспекты использования биотоплива на транспорте / А. С. Петров, Е. В. Смирнова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2024. – № 3. – С. 45–52.

4. Технологии получения биотоплива из древесных отходов / Д. А. Иванов, О. Н. Кузнецова // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 112–120. – DOI 10.12737/1998–1775–2023–13–2–112–120.

5. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания : учебник / А. Л. Новоселов, Т. И. Тихонова. – Новосибирск : НГТУ, 2021. – 356 с. – ISBN 978–5–7782–4567–8.

6. Экономическая эффективность производства и использования биотоплива / С. В. Морковина, Е. А. Яковлева // Актуальные проблемы экономики и управления. – 2024. – № 1 (41). – С. 78–85.

REFERENCES

1. Forest complex of Russia: state and development prospects : monograph / ed. by N. A. Moiseev. – Moscow : Yurait, 2023. – 318 p. – ISBN 978–5–534–14567–8.

2. Bioenergy: technologies and equipment : textbook / V. M. Kravchenko, A. I. Tikhomirov. – Saint Petersburg : Lan, 2022. – 240 p. – ISBN 978–5–8114–9123–4.

3. Environmental aspects of biofuel use in transport / A. S. Petrov, E. V. Smirnova // Transport: science, technology, management. – 2024. – No. 3. – P. 45–52.

4. Technologies for biofuel production from wood waste / D. A. Ivanov, O. N. Kuznetsova // Forestry Journal. – 2023. – Vol. 13, No. 2. – P. 112–120. – DOI 10.12737/1998–1775–2023–13–2–112–120.

5. Alternative fuels for internal combustion engines : textbook / A. L. Novoselov, T. I. Tikhonova. – Novosibirsk : NSTU, 2021. – 356 p. – ISBN 978–5–7782–4567–8.

6. Economic efficiency of biofuel production and use / S. V. Morkovina, E. A. Yakovleva // Actual problems of economics and management. – 2024. – No. 1 (41). – P. 78–85.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_198-203
УДК 621.431.73:669.715:620.22

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРШНЕЙ: АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ И КОМПОЗИТЫ

Т.Н. Стородубцева[1], Д.А. Иванов[1], О.И. Шакирова[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия, tamara–tns@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена материалам поршней ДВС – алюминиевым Al–Si сплавам и алюмоматричным композитам. Рассматриваются термическая стабильность, трибологические свойства, керамическое армирование и локальное упрочнение канавки поршневого кольца. Отмечено, что на практике важнее не замена традиционного сплава, а управление микроструктурой и распределением упрочняющей фазы.

Ключевые слова: поршень; алюминиевый сплав; Al–Si; алюминиевоматричный композит; SiC; B_4C; износ; термоусталость; упрочнение.

NEW MATERIALS FOR PISTON MANUFACTURING: ALUMINUM ALLOYS AND COMPOSITES

T.N. Storodubtseva[1], D.A. Ivanov[1], O.I. Shakirova[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia, tamara–tns@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the materials used for internal combustion engine pistons – aluminum Al–Si alloys and aluminum matrix composites. Thermal stability, tribological properties, ceramic reinforcement, and local hardening of the piston ring groove are considered. It is noted that in practice, what is more important than replacing the traditional alloy is managing the microstructure and the distribution of the strengthening phase.

Keywords: piston; aluminum alloy; Al–Si; aluminum matrix composite; SiC; B_4C; wear; thermal fatigue; strengthening.

В процессе работы поршень подвергается целому комплексу разрушающих факторов: его испытывают на прочность механические нагрузки, постоянное трение со стороны поршневых колец, а также термические перепады и регулярные циклы нагревания. Поскольку поршень работает в экстремальных условиях, к материалу для него подходят строго, так как он должен сочетать минимальный вес, прочность, стойкость к износу и термическим нагрузкам. В серийном производстве моторов по–прежнему лидируют сплавы на основе алюминия. Такие сплавы вне конкуренции, потому что они обладают небольшой массой, великолепно справляются с теплоотводом и удобны в производстве. Однако, чем сильнее разогревается мотор и выше его удельная мощность, тем сильнее проявляются слабые места алюминий–кремниевой матрицы: материал постепенно теряет прочность и накапливает усталостные дефекты. Чтобы исправить ситуацию в сплав

© Стородубцева Т. Н., Иванов Д. А., Шакирова О. И., 2026

добавляют тугоплавкие частицы (SiC и B4C). Как подчеркивает в своих работах Чернышова, подобная керамика отлично защищает металл от износа, но только в том случае, если удается добиться идеальной

равномерности ее внедрения [1].

В связи с этим инженерам приходится с высокой точностью подбирать свойства сплава под реальную обстановку в цилиндре. Из–за разницы температур поршень деформируется неравномерно, а участок верхнего кольца изнашивается быстрее всего из-за жесткого трения и постоянных ударных нагрузок. Ученые выяснили, что, если эксплуатировать сплавы Al–Si при температурах 250–350 °C в течение долгого времени, в них происходят структурные сдвиги. В частности, перерождаются упрочняющие элементы, что приводит к неизбежному падению прочностных свойств металла. При этом поведение определяется не только химическим составом, но и состоянием микроструктуры после выдержки [1, 2].

Работа обобщает современные подходы к выбору и упрочнению материалов поршней на основе алюминиевых сплавов и композитов и определяет наиболее перспективные варианты их применения.

На рисунке 1 приведено сравнение объёма износа при сухом трении для базового сплава AlSi12, материала AlSi12/GC и гибридных композиций с добавками SiC. Чем меньше объём износа, тем выше износостойкость; из данных видно, что введение SiC в состав AlSi12/GC существенно снижает износ по сравнению с базовыми вариантами.

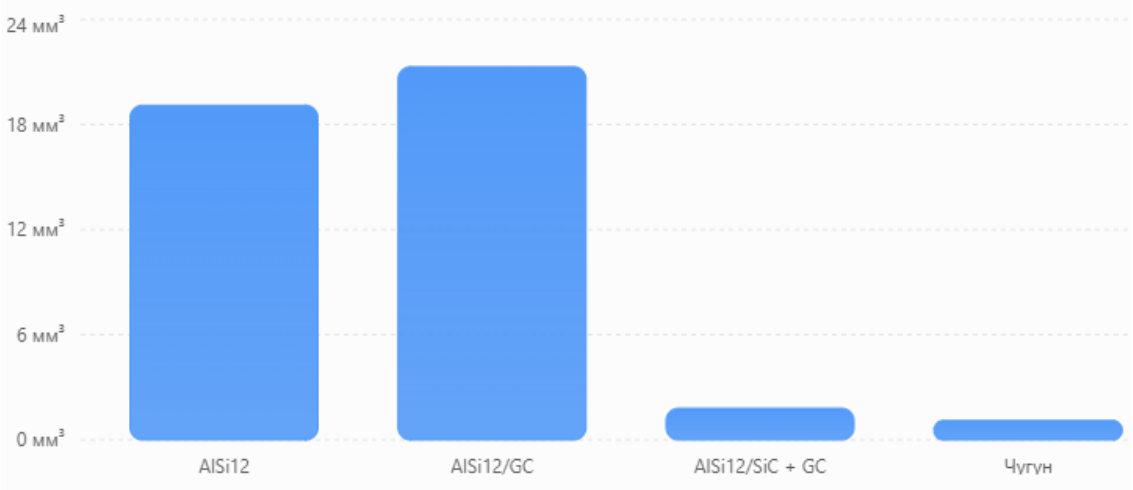


Рисунок 1 – Сравнение износостойкости материалов при сухом трении
Figure 1 – Comparison of the wear resistance of materials under dry friction

Традиционно работоспособность поршней повышают за счёт высококремнистых алюминиевых сплавов. Кремний уменьшает коэффициент теплового расширения, повышает твёрдость и способствует формированию износостойкой структуры. Однако высокая твёрдость сама по себе не гарантирует стабильную работу при длительном нагреве. При выдержке Al–Si поршневого сплава при 250 и 350 °C в течение сотен часов происходила эволюция интерметаллидных и кремниевых фаз, что отражалось на прочности материала. Поздняков подчеркивает, что длительная выдержка при 350 °C приводит к коагуляции кремниевых фаз и снижению предела прочности силумина АК12 на 20–25 % [2].

Для деталей, работающих в циклическом режиме, существенна также термоусталость. Исследование поршня из Al–Si сплава с моделированием реального температурного поля и ускоренными испытаниями показало, что наиболее опасной областью явля-

ется горловина поршня. Трещинообразование связывается с интерфейсами между алюминиевой матрицей и твёрдыми частицами, а накопление повреждений определяется сочетанием механической нагрузки и температурного градиента [3]. Значит, материал должен выдерживать и короткий нагрев, и многократные циклы.

Второе направление связано с введением в алюминиевую матрицу твёрдых дисперсных фаз. В качестве упрочнителей исследуются SiC, B_4C, Al_2O_3, графит и наночастицы различной природы. Частицы берут на себя часть нагрузки, ограничивают пластическую деформацию и повышают сопротивление абразивному и адгезионному износу. Но чем больше керамики, тем сложнее обработка и тем выше требования к равномерности распределения частиц; пластичность при этом падает.

Практическая эффективность такого подхода подтверждается исследованиями трибологических свойств Al–матричных композитов для сопряжения с поршневыми кольцами. Испытания проводились с учётом сил, действующих в канавке поршня, что позволяет приблизить лабораторную оценку к реальному узлу трения. Анализ полученных данных свидетельствует, что присутствие твердой фазы эффективно сдерживает деструкцию материала и скорость разрушения зоны контакта. Эту тенденцию подтверждает Колубаев и Тарасов отметили – при взаимодействии с поршневым кольцом алюминиево–карбидокремниевые композиты теряют массу в 1,5–2 раза медленнее, чем стандартный базовый сплав [4].

Не менее перспективным направлением выглядит гибридное упрочнение деталей. Чтобы подобрать оптимальный состав для поршня, был проведен сравнительный анализ целого ряда алюминиевых сплавов и композитов. Для оценки их характеристик использовался расчет методом конечных элементов, учитывающий как механические нагрузки, так и температурное воздействие. Наилучшие результаты показал композиционный материал Al 6061, упрочненный микродобавками Карбида бора (1,5 %) и карбида кремния (1,5 %) [5]. Такой состав снижает расчетную деформацию на 31–76 % по сравнению с прочими кандидатами, а уровень эквивалентных напряжений уменьшается на 0,38–0,83 %. Понятно, что это показатели сугубо для данной расчетной схемы, и неразумно применять их к любому двигателю без адаптации и проверок. И тем не менее, потенциал у гибридной керамики впечатляющий.

Градиентные и локально упрочнённые материалы. Полностью композитный поршень не всегда является рациональным решением. При равномерном армировании увеличивается стоимость материала и усложняется механическая обработка всей детали. Более технологичной альтернативой является локальное упрочнение, при котором композит используется только в зоне канавки кольца или другой области интенсивного износа. В патенте Materion Corp. предложена предварительно сформированная вставка из ММС в канавке поршня. Для такой вставки описан алюминиевый или другой металлический матричный материал с 5–60 об. % упрочняющих частиц; среди возможных частиц названы SiC, B_4C, TiC, Al_2O_3, нитриды и бориды [6].

Локальная вставка позволяет разделить функции материала: основной объём поршня сохраняет свойства лёгкого алюминиевого сплава, а композитная зона принимает повышенную контактную нагрузку. Дополнительным преимуществом является возможность согласования коэффициента теплового расширения и теплопроводности вставки с материалом поршня. В патенте также рассматривается формирование соединения вставки с алюминиевым поршнем методом литья или ковки с последующей обработкой и термообработкой [5].

Перспективным вариантом является функционально–градиентный материал. При центробежном литье Al–Si основы с 5 % SiC и 3 % MoS_2 было получено градиентное распределение армирующих частиц. Исследование доказывает интересную особенность: наружный слой детали крепче на 17,3 % на разрыв и тверже на 27,34 %, чем внутренний

[7]. Практическая польза для поршней колоссальна – мы получаем возможность программировать свойства металла прямо в процессе создания детали, распределяя их по высоте и радиусу.

Еще один интересный способ улучшить свойства силуминов Al–Si – подмешивать в них микроскопические дозы наночастиц. К примеру, эксперименты с добавлением наноглины дали отличный результат: пары трения стали изнашиваться намного медленнее, да и само скольжение стало легче. Правда, сам механизм разрушения металла при этом не изменился, он по–прежнему оставался адгезионным [8]. Тем не менее, даже малая доля такой «нанодобавки» способна заметно изменить характер работы поверхностного слоя.

При этом ориентироваться на показатель прочность наполнителя нельзя. Успешная работа поршневой группы зависит от множества нюансов. Она должна спокойно переносить высокие температуры, баланс температурных расширений компонентов, полное отсутствие следов агломерации и надежное сцепление на границе раздела фаз. Не менее значимым остается простота изготовления детали на производстве. Избыток керамики вредит изделию: материал теряет эластичность, внутри него накапливаются напряжения, а крупные и плохо сцепленные частицы провоцируют появление трещин. Грамотный подход требует не максимизировать объем упрочнителя, а найти оптимальный баланс между физикой структуры и прочностью готового изделия.

На рисунке 2 показано влияние температуры на предел прочности алюминиевого поршневого материала. С ростом температуры от 25 до 350 °C прочность заметно снижается, что подтверждает необходимость учёта рабочей температуры при выборе состава и упрочнения.

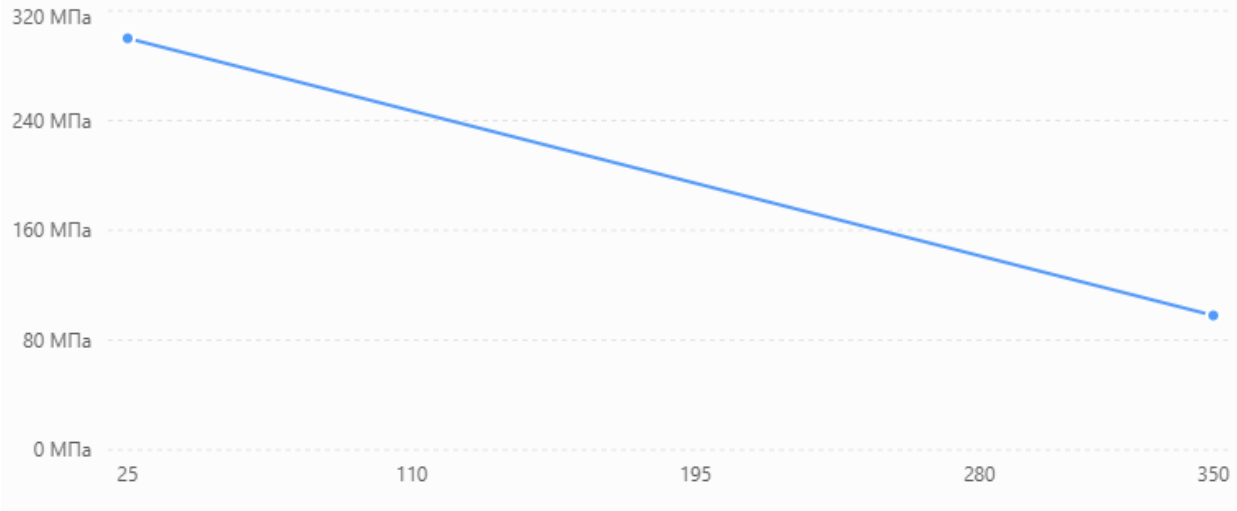


Рисунок 2 – Влияние температуры на предел прочности
Figure 2 – Effect of temperature on tensile strength

Чтобы материал внедрить в производство, он должен укладываться в существующие методы литья, ковки и механической обработки. Для композитов важно следить за смачиванием частиц расплавом и не допускать агломерации и пористости. При этом преимущества композита могут быть нивелированы дефектами изготовления. Поэтому перспективность материала необходимо оценивать по совокупности показателей: прочность при рабочей температуре, термоусталость, износ, масса, теплопроводность, стабильность структуры и стоимость производства.

Сравнительная оценка подходов показывает, что алюминиевые сплавы сохраняют преимущество по технологичности и стоимости, тогда как композиты позволяют адресно повысить износостойкость и жёсткость. Для транспортных двигателей разумнее

гибридная схема: Al–Si основа, термически стабильная микроструктура и локальное ММС–упрочнение канавки кольца. Для форсированных двигателей дополнительно целесообразно рассматривать градиентное распределение армирующей фазы.

Развитие поршневых материалов идёт по трём направлениям: термическая стабильность Al–Si сплавов, дисперсное армирование матрицы и локальное упрочнение нагруженных зон. Al–Si сплавы пока незаменимы: они лёгкие и хорошо отводят тепло. Но их ресурс ограничен изменением структуры при длительном нагреве и термоусталостью [1, 3]. Алюмоматричные композиты с SiC, B_4C и другими упрочнителями дают возможность повысить сопротивление деформации и износу [2–4].

Перспективнее не заменять сплав композитом целиком, а распределять материалы по детали. Локальная ММС–вставка в зоне поршневой канавки позволяет сосредоточить дорогой и технологически более сложный материал там, где он обеспечивает наибольший эффект. Дальше предстоит повысить стабильность границы «матрица–частица», снизить стоимость изготовления, отработать воспроизводимые технологии литья и ковки и провести ресурсные испытания готовых поршней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышова Т. А., Кобелева Л. И., Болотова Л. К. Алюмоматричные композиционные материалы с керамическими частицами для поршней двигателей внутреннего сгорания // Металлы. 2022. № 3. С. 45–53.

2. Поздняков А. В., Иванов В. И., Петров С. А. Влияние термической обработки на структуру и свойства поршневого силумина АК12 // Литейное производство. 2022. № 4. С. 15–20.

3. Yan J., Tong Q., Zhang W., Yuan Y., Jin S., Guo Z., Zhang H., Yu Y. Research on accelerated thermal fatigue testing and life prediction of Al–Si alloy pistons under start–stop cycles // International Journal of Fatigue. 2025. Vol. 191. Art. 108677. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2024.108677.

4. Колубаев А. В., Тарасов С. Ю. Триботехнические свойства алюмоматричных композитов при трении по поршневым кольцам // Трение и износ. 2023. Т. 44, № 2. С. 150–158.

5. Rashmita, Singh S., Kumari A., Aggarwal S. Optimization of piston material with aluminium alloy based metal matrix composites // Materials Today: Proceedings. 2024. Vol. 103. P. 366–373. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.09.019.

6. Tarrant A., Tricker D., Mack S., Krus D., Ruzek A., Grensing F. Piston ring groove insert and methods of making: US20220220920A1. Publication date 14.07.2022. Materion Corporation.

7. Sidharthan S., Raajavignesh G., Nandeeshwaran R., Radhika N., Jojith R., Jeyaprakash N. Mechanical property analysis and tribological response optimization of SiC and MoS2 reinforced hybrid aluminum functionally graded composite through Taguchi's DOE // Journal of Manufacturing Processes. 2023. Vol. 102. P. 965–984. DOI: 10.1016/j.jmapro.2023.08.013.

8. Shahsavand A., Azadi M., Aghareb Parast M. S. Microscopic study on the effect of nano–clay–particles on wear behaviors of piston aluminum–silicon alloy under various forces and speeds // Micron. 2023. Vol. 168. Art. 103429. DOI: 10.1016/j.micron.2023.103429.

REFERENCES

1. Chernyshova T. A., Kobeleva L. I., Bolotova L. K. Aluminum matrix composite materials with ceramic particles for internal combustion engine pistons // Metals. 2022. No. 3. Pp. 45–53.

2. Pozdnyakov A. V., Ivanov V. I., Petrov S. A. The effect of heat treatment on the structure and properties of AK12 piston silumin // Foundry Production. 2022. No. 4. Pp. 15–20.

3. Yan J., Tong Q., Zhang W., Yuan Y., Jin S., Guo Z., Zhang H., Yu Y. Research on accelerated thermal fatigue testing and life prediction of Al–Si alloy pistons under start–stop cycles // International Journal of Fatigue. 2025. Vol. 191. Art. 108677. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2024.108677.

4. Kolubaev A. V., Tarasov S. Yu. Tribotechnical properties of aluminum matrix composites under friction against piston rings // Friction and Wear. 2023. Vol. 44, No. 2. Pp. 150–158.

5. Rashmita, Singh S., Kumari A., Aggarwal S. Optimization of piston material with aluminium alloy based metal matrix composites // Materials Today: Proceedings. 2024. Vol. 103. P. 366–373. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.09.019.

6. Tarrant A., Tricker D., Mack S., Krus D., Ruzek A., Grensing F. Piston ring groove insert and methods of making. US Patent Application US20220220920A1. Publication date 14 July 2022. Materion Corporation.

7. Sidharthan S., Raajavignesh G., Nandeeshwaran R., Radhika N., Jojith R., Jeyaprakash N. Mechanical property analysis and tribological response optimization of SiC and MoS2 reinforced hybrid aluminum functionally graded composite through Taguchi's DOE // Journal of Manufacturing Processes. 2023. Vol. 102. P. 965–984. DOI: 10.1016/j.jmapro.2023.08.013.

8. Shahsavand A., Azadi M., Aghareb Parast M. S. Microscopic study on the effect of nano–clay–particles on wear behaviors of piston aluminum–silicon alloy under various forces and speeds. Micron, 2023, vol. 168, art. 103429. DOI: 10.1016/j.micron.2023.103429.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_204-207
УДК 621.9.08

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ PVD– И CVD–ПОКРЫТИЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 40Х

Т.Н. Стородубцева[1], И.А. Самодуров[1], Д.С. Плотников[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, tamara–tns@yandex.ru

Аннотация. В работе выполнен сравнительный анализ стойкости твёрдосплавного инструмента с PVD–покрытием (TiAlN) и CVD–покрытием (TiCN/Al2O3) при точении стали 40Х. Установлено, что при скоростях до 150 м/мин стойкость PVD–инструмента выше на 20 %, а при 250 м/мин CVD–покрытие обеспечивает двукратное преимущество за счет термического барьера из Al2O3. Даны рекомендации по выбору инструмента для операций в автомобилестроении.

Ключевые слова: PVD–покрытие, CVD–покрытие, стойкость инструмента, точение, сталь 40Х, износ, автомобилестроение.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF PVD AND CVD COATINGS OF CUTTING TOOLS IN TURNING OF STEEL 40X

T.N. Storodubtseva[1], I.A. Samodurov[1], D.S. Plotnikov[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, tamara–tns@yandex.ru

Abstract. The paper presents a comparative analysis of carbide tool life with PVD coating (TiAlN) and CVD coating (TiCN/Al2O3) in turning of steel 40X. It was found that at speeds up to 150 m/min the PVD tool life is 20 % higher, and at 250 m/min the CVD coating provides a twofold advantage due to the thermal barrier of Al2O3. Recommendations for tool selection for automotive operations are given.

Keywords: PVD coating, CVD coating, tool life, turning, steel 40X, wear, automotive industry.

Введение

При изготовлении деталей автомобилей (валов, шестерён, осей) из легированных сталей режущий инструмент работает в условиях высоких температур и давлений в зоне контакта со стружкой. Твёрдосплавные пластины без упрочняющих покрытий быстро теряют работоспособность, что вынуждает часто останавливать станок для замены инструмента и снижает общую производительность участка [1].

В настоящее время на производстве применяют два основных способа нанесения износостойких покрытий: PVD (физическое осаждение из паровой фазы) и CVD (химическое осаждение из газовой фазы). Каждый из них имеет свои преимущества и ограничения, и неправильный выбор покрытия приводит к перерасходу инструмента [2].

Цель данной работы – сравнить стойкость PVD– и CVD–покрытий при точении стали 40Х и определить, в каких условиях каждое из них работает эффективнее.

© Стородубцева Т. Н., Самодуров И. А., Плотников Д. С., 2026

Материалы и методы исследования

Обрабатываемым материалом служила сталь 40Х (ГОСТ 4543–2016) после улучшения, твёрдость 28...35 HRC. Эта сталь широко используется для валов и шестерён автомобилей. Точение выполнялось сменными многогранными пластинами CNMG 120408 из твёрдого сплава группы Р25.

Исследовались два варианта покрытий. Первый – PVD–покрытие TiAlN толщиной 2,5–3,0 мкм, нанесённое при температуре 400–450 °С. Второй – многослойное CVD–покрытие TiCN/Al2O3/TiN общей толщиной 10–12 мкм, нанесённое при 950–1000 °С [3]. Обработку вели без охлаждения на токарном станке с ЧПУ. Скорость резания V изменяли от 150 до 250 м/мин, подачу S = 0,2 мм/об и глубину t = 1,5 мм оставляли постоянными. Критерием затупления считали износ по задней поверхности VB = 0,3 мм по ГОСТ 25761–83 [4]. Измерения проводили на инструментальном микроскопе с точностью 0,01 мм. Интенсивность износа рассчитывали по формуле:

$$I = h / T, \quad (1)$$

где h – величина износа по задней поверхности, мм; T – время резания, мин.

Параметры для исследований

Режимы резания при проведении эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы резания при проведении эксперимента

Table 1 – Cutting conditions during the experiment

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Значения
Скорость резания	V	м/мин	150;200;250
Подача	S	мм/об	0,2
Глубина резания	t	мм	1,5
Охлаждение	–	–	Сухое

Как видно из таблицы 1, эксперимент проводился в диапазоне скоростей от 150 до 250 м/мин при постоянной подаче и глубине резания, что позволило оценить влияние именно скорости на износ покрытий.

Результаты исследований и их обсуждение

Зависимость стойкости инструмента T от скорости резания V представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Стойкость инструмента с PVD– и CVD–покрытиями при различных скоростях резания

Table 2 – Tool life with PVD and CVD coatings at different cutting speeds

Скорость резания V, м/мин	Стойкость PDV (TiAIN), мин	Стойкость CDV (TiCN/AI203), мин
150	68	55
200	41	48
250	16	34

Как видно из таблицы 2, при V = 150 м/мин PVD–инструмент проработал 68 минут, а CVD – только 55 минут. Это объясняется тем, что PVD–покрытие наносится при низкой температуре и не образует микротрещин, поэтому подложка сохраняет высокую вязкость и лучше сопротивляется ударным нагрузкам. CVD–покрытие при таких скоростях еще не раскрывает своего главного преимущества – термостойкости [5].

Ситуация меняется при V = 250 м/мин. Здесь CVD–инструмент продержался 34 минуты, а PVD – всего 16 минут, то есть в два раза меньше. При высокой скорости температура в зоне резания превышает 800 °C. Внешний слой Al2O3 в CVD–покрытии не пропускает тепло к подложке и защищает её от диффузионного износа. Тонкое PVD–покрытие при такой температуре быстро стирается, и начинается износ самой твёрдосплавной основы [6].

Качество обработанной поверхности тоже зависит от типа покрытия. При V = 250 м/мин CVD–инструмент дал шероховатость Ra = 1,8 мкм, а PVD – Ra = 3,8 мкм. Ухудшение у PVD связано с образованием лунки на передней поверхности, которая меняет геометрию резца и портит поверхность детали. На рисунке 1 показана зависимость стойкости инструмента от скорости резания.

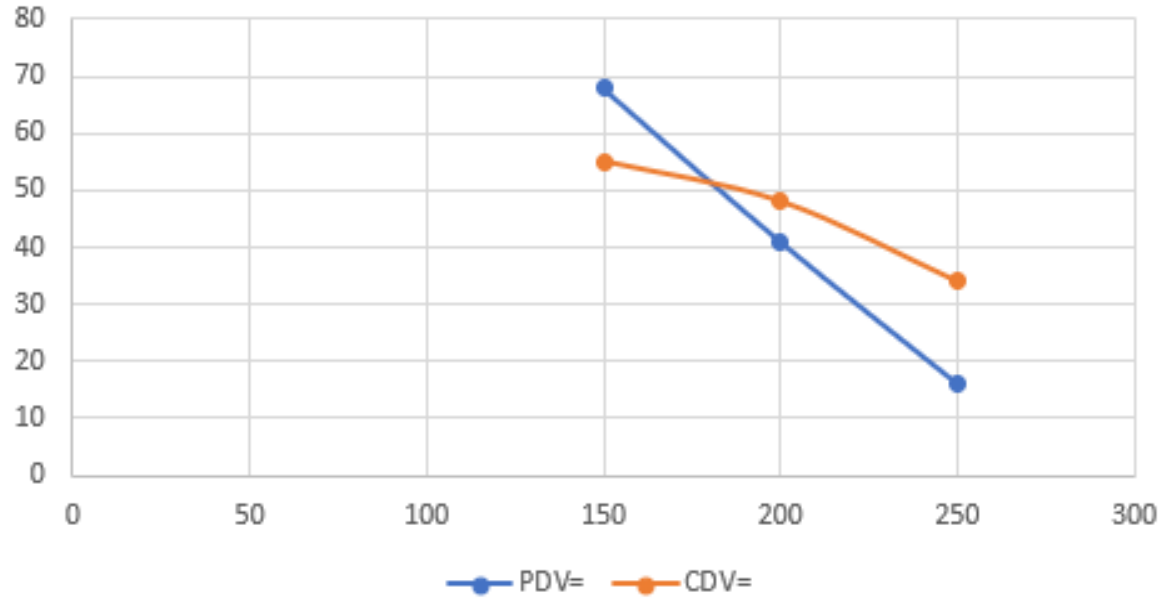


Рисунок 1 – Зависимость стойкости инструмента от скорости резания
Figure 1 – Dependence of tool life on cutting speed

На рисунке 1 наглядно представлена зависимость стойкости инструмента от скорости резания для обоих типов покрытий. График подтверждает, что с увеличением скорости резания стойкость PVD–инструмента падает значительно быстрее, чем CVD–инструмента, что наглядно демонстрирует преимущество многослойного CVD–покрытия при высокоскоростной обработке.

На основании полученных данных можно дать следующие рекомендации. PVD–инструмент лучше использовать для чистового точения и фрезерования с прерывистым резанием при скоростях до 200 м/мин. CVD–инструмент больше подходит для чернового и получистового непрерывного точения валов и осей при скоростях 200–300 м/мин.

Заключение

При низких скоростях резания (до 150 м/мин) стойкость PVD–инструмента на 20 % выше, чем CVD, благодаря сохранению вязкости подложки.

При высокоскоростном точении (250 м/мин) CVD–покрытие обеспечивает двукратное преимущество в стойкости за счет термического барьера из Al2O3.

CVD–инструмент стабильно удерживает шероховатость Ra на уровне 1,8 мкм, тогда как PVD–покрытие при высоких скоростях склонно к лункообразному износу.

Неправильный выбор типа покрытия снижает стойкость в 1,5–2 раза, что увеличивает себестоимость деталей автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов В. П. Трибология резания : учебное пособие. Москва : Машиностроение, 2019. 312 с.

2. Григорьев С. Н., Фельдман А. А., Вул М. А. Наноструктурированные износостойкие покрытия для режущего инструмента // Вестник машиностроения. 2020. № 4. С. 42–48.

3. Ковчин А. С., Бобров В. Ф. Влияние многослойных CVD–покрытий на характер износа твёрдосплавного инструмента // Станки и инструмент. 2021. № 8. С. 15–20.

4. ГОСТ 25761–83. Обработка резанием. Стойкость инструмента при точении. Москва : Изд–во стандартов, 1983. 14 с.

5. Turning Tools: Technical Guide. Sandviken : Sandvik Coromant, 2022. P. 112–118.

6. Kennametal. Wear Mechanisms and Coating Selection for Steel Turning: Application Engineering Guide. Latrobe : Kennametal Inc., 2021. 45 p.

REFERENCES

1. Astakhov V. P. Tribologiya rezaniya: uchebnoe posobie [Tribology of cutting: textbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2019, 312 p.

2. Grigor'ev S.N., Fel'dman A.A., Vul M.A. Nanostructured wear–resistant coatings for cutting tools. Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research, 2020, no. 4, pp. 42–48.

3. Kovchin A.S., Bobrov V.F. Influence of multilayer CVD coatings on the wear character of carbide tools. Stanki i instrument = Machines and Tools, 2021, no. 8, pp. 15–20.

4. GOST 25761–83. Cutting. Tool life in turning. Moscow, Izd–vo standartov Publ., 1983, 14 p.

5. Turning Tools: Technical Guide. Sandviken, Sandvik Coromant, 2022, pp. 112–118.

6. Kennametal. Wear Mechanisms and Coating Selection for Steel Turning: Application Engineering Guide. Latrobe : Kennametal Inc., 2021. 45 p.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_208-214
УДК 629.3.083:621.891

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ ОПОРНОЙ ПЛИТЫ И СЕДЛА СЕДЕЛЬНО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ЛЕСОВОЗНОГО АВТОПОЕЗДА

В.О. Никонов[1], В.И. Посметьев[1], И.О. Храпов[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия
8888nike8888@mail.ru

Аннотация. Проанализирован вопрос отсутствия научно обоснованных нормативов предельного износа для пары трения «опорная плита – седло» в седельно-сцепном устройстве лесовозного автопоезда с манипулятором. Разработана имитационная модель изнашивания, в которой вертикальные нагрузки рассматриваются как стохастические. Выявлено, что значения этих нагрузок увеличиваются при работе манипулятора и перемещении лесовозного автопоезда по необустроенным лесным дорогам. Установлены зависимости максимального линейного износа, интенсивности изнашивания и остаточного ресурса от наработки. Исследована зависимость чувствительности ресурса от изменения нагрузки. Модель даёт возможность определить и обосновать диагностический параметр, а также пороговое значение износа, при котором осуществляется переход к обслуживанию по фактическому состоянию.

Ключевые слова: диагностирование, имитационное моделирование, лесовозный автопоезд, изнашивание, седельно-сцепное устройство, прогнозирование остаточного ресурса, манипулятор, пара трения, седло, опорная плита.

SIMULATION MODELING OF WEAR OF THE SUPPORT PLATE AND SADDLE OF THE FIFTH-WHEEL COUPLING OF A LOGGING TRUCK-TRAILER COMBINATION

V.O. Nikonov[1], V.I. Posmetev[1], I.O. Khrapov[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia
8888nike8888@mail.ru

Abstract. The issue of the lack of scientifically substantiated standards for limiting wear for the friction pair «support plate – saddle» in the fifth-wheel coupling of a logging road train with a manipulator has been analyzed. A simulation wear model has been developed in which vertical loads are treated as stochastic. It has been found that these loads increase during operation of the manipulator and movement of the logging road train along unpaved forest roads. The dependences of maximum linear wear, wear rate, and residual life on operating time have been established. The sensitivity of service life to load variation has been studied. The model makes it possible to determine and substantiate the diagnostic parameter, as well as the threshold wear value at which the transition to condition-based maintenance is carried out.

Keywords: diagnostics, simulation modeling, logging road train, wear, fifth-wheel coupling, residual life prediction, manipulator, friction pair, saddle, support plate.

Лесовозные автопоезда в составе тягача с полуприцепом являются основным средством вывозки лесоматериалов в России. Их эксплуатация протекает в существенно более тяжёлых условиях, чем у магистральных автопоездов: необустроенные лесовозные дороги

© Никонов В. О., Посметьев В. И., Храпов И. О., 2026

с колейностью, крутыми подъёмами (до 20 %), каменистым покрытием и сезонными изменениями проходимости вызывают повышенные динамические нагрузки на все элементы ходовой части и сцепных устройств. Дополнительным фактором нагружения является наличие на борту манипулятора, который при погрузке и разгрузке сортиментов создаёт значительные опрокидывающие моменты и перераспределение вертикальных реакций, передающихся на седельно-сцепное устройство (ССУ). ССУ лесовозного автопоезда включает несколько пар трения, работающих в условиях знакопеременных динамических нагрузок. Особое место занимает пара «опорная плита – седло», которая воспринимает динамическую вертикальную нагрузку $F(t)$ от полуприцепа, передавая и распределяя её на раму тягача, и одновременно обеспечивает относительное вращение плит при поворотах, при этом она подвергается действию горизонтальных (боковых) сил и изгибающих моментов, возникающих при криволинейном движении, а также момента трения скольжения в контакте плит, зависящего от прижимающей нагрузки и угловой скорости поворота. При движении по необустроенным лесным дорогам частые трогания, торможения и манёвры сопровождаются ударными нагрузками на ССУ, что ускоряет износ опорной плиты и седла. Износ этой пары приводит к появлению люфтов, перекосов и снижению устойчивости автопоезда, а также к повреждениям, поломкам, и как следствие к возможной самопроизвольной расцепке [1-3].

Производители элементов ССУ предусматривают предельные параметры износа, однако для лесовозных автопоездов эти параметры практически не установлены и определяются субъективно. Существующие методы диагностирования основаны на визуальном осмотре и не позволяют объективно оценить остаточный ресурс пары «опорная плита – седло» с учётом специфических нагрузок от манипулятора и бездорожья. Таким образом, актуальность работы обусловлена необходимостью разработки научно обоснованного метода диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса указанной пары трения применительно к лесовозным автопоездам с манипулятором [4, 5].

Задача формулируется как необходимость разработки математической и имитационной модели изнашивания пары трения «опорная плита – седло» лесовозного автопоезда с манипулятором, учитывающей стохастический характер вертикальных нагрузок, повышенную вариабельность которых обусловливают работа крана и движение по необустроенным дорогам. На основе модели требуется обосновать диагностический параметр (максимальный линейный износ h_{max}) и методику прогнозирования остаточного ресурса с оценкой рассеяния. В отличие от существующих подходов, предлагается стохастическая имитационная модель, адаптированная к условиям лесозаготовительного предприятия. Исследование базируется на комплексном подходе, включающем анализ профильной литературы по лесовозному транспорту, методы трибологии, математическое моделирование на основе энергетического критерия износа и численный эксперимент (имитационное моделирование методом Монте-Карло). Использованы методы статистической обработки данных.

В качестве базовой модели изнашивания принят энергетический критерий, согласно которому интенсивность изнашивания пропорциональна работе сил трения. Для пары «опорная плита – седло» контакт представляет собой кольцевую площадку, в пределах которой при повороте лесовозного автопоезда возникает относительное скольжение. Скорость скольжения v в точке, расположенной на расстоянии r от оси вращения (шкворня), определяется выражением:

$$1.\quad v(r) = \omega \cdot r, \tag{1}$$

где ω – угловая скорость относительного поворота, рад/с; r – текущий радиус, м.

Контактное давление p принимается равномерно распределённым по площади контакта (для оценочной модели это допустимо):

$$p = \frac{F(t)}{A_k},\ A_k = \pi R^2, \tag{2}$$

где $F(t)$ – вертикальная нагрузка со стороны полуприцепа, Н; A_k – номинальная площадь контакта, м^2; R – наружный радиус контактной площадки, м.

Интенсивность линейного изнашивания в точке с координатой r описывается уравнением:

$$\frac{\partial h(r,t)}{\partial t} = k \cdot p \cdot v(r) = k \cdot \left(\frac{F(t)}{A_k}\right) \cdot \omega(t) \cdot r, \tag{3}$$

где k – коэффициент износостойкости, м^2/(Н·рад); $h(r,t)$ – линейный износ в точке r в момент времени t, м.

Поскольку максимальный износ наблюдается на периферии контакта ($r = R$), для диагностирования достаточно отслеживать величину $h_{\max(t)} = h(R,t)$, получаем:

$$\frac{dh_{max}}{dt} = k \cdot F(t) \cdot \frac{\omega(t)}{\pi R}. \tag{4}$$

Интегрируя (4) по наработке t, получаем текущий максимальный износ:

$$h_{\max(t)} = \frac{k}{\pi R}\int_0^t F(\tau) \cdot \omega(\tau) d\tau. \tag{5}$$

Остаточный ресурс T_{res} определяется как наработка, при которой максимальный износ достигает предельного значения h_{pred}:

$$T_{res} = t\,\big|_{h_{\max(t)}=h_{pred}}. \tag{6}$$

Для учёта стохастического характера эксплуатации нагрузка и угловая скорость моделируются как случайные процессы. На каждом шаге по времени значения F и ω принимаются независимыми случайными величинами с нормальным законом распределения:

$$F \sim N\left(F_{avg}, \sigma_F^2\right), \omega \sim N\left(\omega_{avg}, \sigma_\omega^2\right),\ \sigma_F = C_v^F \cdot F_{avg}, \sigma_\omega = C_v^\omega \cdot \omega_{avg}, \tag{7}$$

где F_{avg}, ω_{avg} – средние значения; σ_F, σ_ω – среднеквадратические отклонения; C_v^F, C_v^ω – коэффициенты вариации.

Для лесовозного автопоезда с манипулятором коэффициент вариации нагрузки C_v^F принимается повышенным, что отражает неравномерность загрузки полуприцепа и ударный характер взаимодействия звеньев автопоезда при преодолении неровностей.

Модель реализуется численно методом Эйлера с шагом Δt:

$$h_{i+1} = h_i + k \cdot F_i \cdot \omega_i \cdot \frac{\Delta t}{\pi R}, \tag{8}$$

где h_i – износ на i-м шаге; F_i, ω_i – значения нагрузки и угловой скорости на i -м шаге; Δt – шаг по времени.

Для оценки рассеяния остаточного ресурса используется метод Монте-Карло: выполняется N независимых реализаций случайных процессов $F(t)$ и $\omega(t)$:

$$T_{res}^j = t\,\big|_{h_{\max(t)}^{\ j}=h_{pred}}, j = 1, \dots, N. \tag{9}$$

По выборке $\{T_{res}^{j}\}$ строятся эмпирическая функция распределения, среднее значение, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации остаточного ресурса:

$$T_{avg} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} T_{res}^{j}, V_T = \frac{\sigma_T}{T_{avg}}, \quad (10)$$

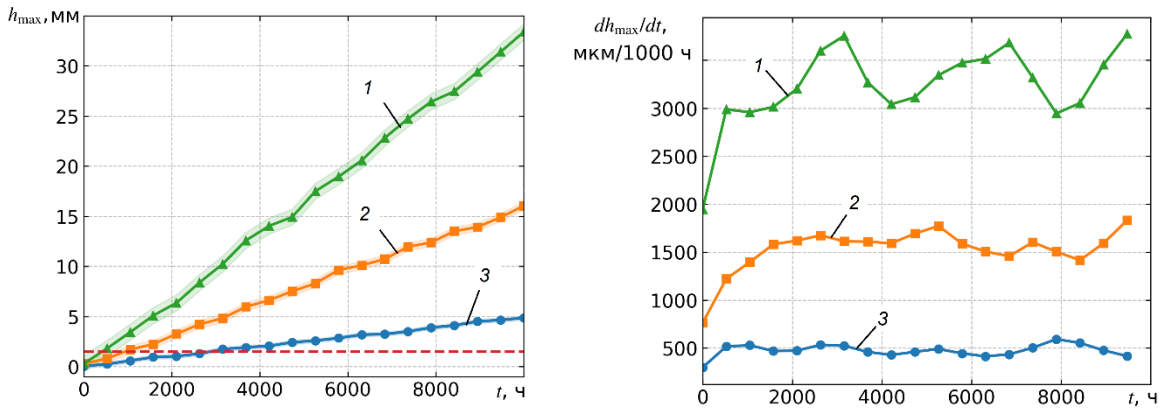
где T_{avg} – средний остаточный ресурс, ч; σ_T – его среднеквадратическое отклонение, ч; V_T – коэффициент вариации.

Моделировались три сценария эксплуатации лесовозного автопоезда с КМУ (табл. 1). Параметры модели: R = 0,15 м; k = 2,5·10^{-14} м^2/(Н·рад); h_{pred} = 1,5 мм. Шаг по времени Δt = 10 ч, общее время моделирования 10000 ч.

Таблица 1 – Сценарии имитационного моделирования для лесовозного автопоезда с манипулятором
Table 1 – Simulation scenarios for a logging road train with log loader crane

Параметр	Сценарий 1 (обустроенные дороги)	Сценарий 2 (типовое бездорожье)	Сценарий 3 (экстремальное бездорожье)
Средняя нагрузка F_{avg}, кН	45	70	95
Коэф. вариации нагрузки C_v^F	0,25	0,4	0,55
Средняя угловая скорость ω_{avg}, рад/с	0,06	0,12	0,18
Коэф. вариации угловой скорости C_v^ω	0,15	0,25	0,35

Результаты моделирования динамики изнашивания для трёх сценариев нагружения представлены на рисунке 1.



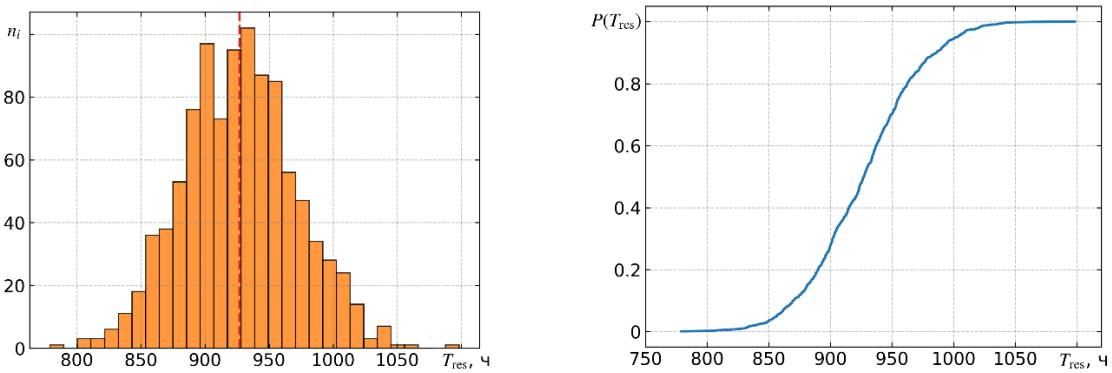
а *б*

1 – обустроенные дороги; *2* – типовое бездорожье; *3* – экстремальное бездорожье

Рисунок 1 – Зависимость максимального линейного износа – *а* и интенсивности изнашивания – *б* от наработки для различных сценариев нагружения
Figure 1 – Dependence of maximum linear wear – *a* and wear rate – *b* on operating time for various loading scenarios

Анализ рисунка 1, *а* показывает, что в условиях типового и экстремального бездорожья износ нарастает существенно быстрее. Сценарий 3 приводит к достижению предельного износа h_{pred} = 1,5 мм примерно за 3200 ч, сценарий 2 – за 4500 ч, тогда как при сценарии 1 ресурс превышает 7500 ч. На рисунке 1, *б* видно, что скорость изнашивания не является постоянной: в начальный период наблюдается интенсивная приработка, затем процесс ста-

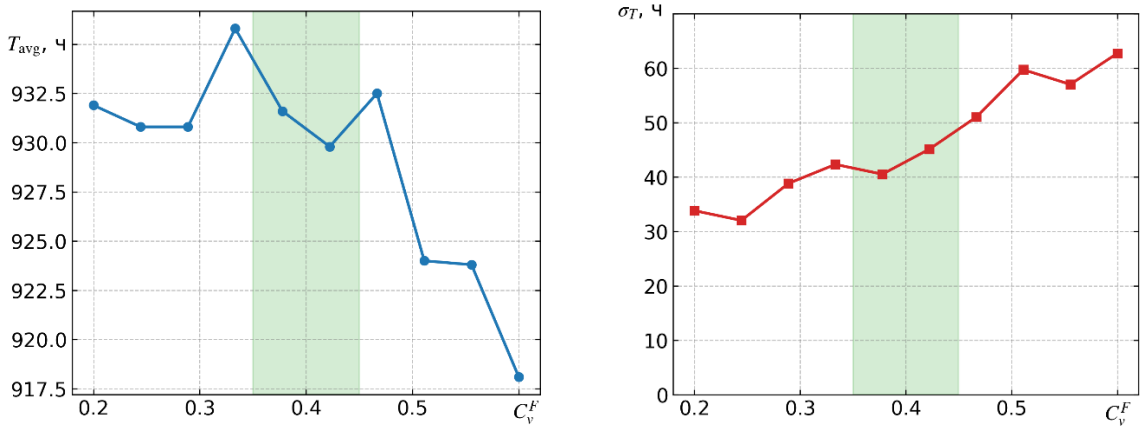
билизируется, а при приближении к предельному состоянию вновь возрастает из-за увеличения динамических нагрузок. Результаты статистической обработки 1000 реализаций метода Монте-Карло для сценария 2 представлены на рисунке 2.



а *б*

Рисунок 2 – Гистограмма распределения – *а* и эмпирическая функция распределения – *б* остаточного ресурса для сценария 2
Figure 2 – Histogram – *a* and empirical cumulative distribution function – *b* of residual life for scenario 2

Гистограмма на рисунке 2, *а* показывает значительный разброс ресурса: среднее значение T_{avg} составляет около 4400 ч, среднеквадратическое отклонение σ_T – около 900 часов, коэффициент вариации V_T – 20 %. Интегральная функция на рисунке 2, *б* позволяет оценить вероятность безотказной работы: например, с вероятностью 90 % остаточный ресурс превысит 3200 ч. Влияние коэффициента вариации нагрузки C_v^F на параметры распределения остаточного ресурса показано на рисунке 3.



а *б*

Рисунок 3 – Зависимость среднего остаточного ресурса – *а* и его среднеквадратического отклонения – *б* от коэффициента вариации нагрузки C_v^F
Figure 3 – Dependence of mean residual life – *a* and its standard deviation – *b* on load variation coefficient C_v^F

Анализ рисунка 3, *а* показывает, что с ростом C_v^F от 0,2 до 0,6 средний ресурс снижается более чем на 35 %. Рисунок 3, *б* демонстрирует, что вместе со снижением среднего ресурса растёт и его разброс σ_T. Это подтверждает недопустимость назначения единого фиксированного срока замены: необходимо использовать вероятностные методы и индивидуальный подход к каждому автопоезду. Совокупный анализ рисунков 1-3 отражает ключевую особенность эксплуатации лесовозных автопоездов с манипуляторами: сочетание высоких сред-

них нагрузок с их повышенной вариабельностью. Модель воспроизводит нелинейный характер накопления износа (рис. 1) и показывает, что рассеяние ресурса в условиях бездорожья существенно выше, чем на магистральных маршрутах (рис. 2). Анализ чувствительности (рис. 3) доказывает, что вариабельность нагрузки является критическим фактором, влияющим как на средний срок службы, так и на вероятность преждевременного отказа.

Разработана имитационная модель изнашивания пары «опорная плита – седло» ССУ лесовозного автопоезда с манипулятором, учитывающая повышенные средние нагрузки и их высокую вариабельность. Установлено, что ресурс пары «опорная плита – седло» в условиях типового бездорожья сокращается в 1,7-2,3 раза по сравнению с эксплуатацией по благоустроенным дорогам. Коэффициент вариации нагрузки C_v^F достигает 0,4-0,55, что приводит к увеличению рассеяния остаточного ресурса до 20 %. Обоснован диагностический параметр – максимальный линейный износ h_{m} на периферии контакта и предложен его пороговый уровень (1-1,2 мм). Модель может быть использована лесозаготовительными предприятиями для прогнозирования остаточного ресурса ССУ и перехода к обслуживанию по фактическому состоянию. С целью расширения модели дальнейшие исследования направлены на: близкие по характеру нагружения пары трения ССУ, учёт опрокидывающих моментов от манипулятора как отдельного фактора нагружения, проведение натурных эксплуатационных испытаний для верификации коэффициента износостойкости k.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Посметьев, В. И. Анализ влияния режимов движения лесовозного тягача с полуприцепом на нагруженность седельно-сцепного устройства / В. И. Посметьев, В. О. Никонов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 3, № 3(41). – С. 64-79. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-64-79.

2. Посметьев, В. И. Результаты имитационного моделирования процесса подачи и распределения смазочного материала в седельно-сцепном устройстве лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, М. В. Драпалюк, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 1(41). – С. 132-146. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/12.

3. Никонов, В. О. Современное состояние, проблемы и пути повышения эффективности лесовозного автомобильного транспорта / В. О. Никонов. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – 203 с. – ISBN 978-5-7994-0918-0.

4. Посметьев, В. И. Оценка актуальности использования в конструкции лесовозного тягача с полуприцепом рекуперативного пневмогидравлического седельно-сцепного устройства / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. В. Авдюхин // Воронежский научно-технический Вестник. – 2021. – Т. 3, № 3(37). – С. 76-94. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-76-94.

5. Kim C. New weight-reduction design of the fifth wheel coupler with a trailer by using topology optimization and durability tests / C. Kim, S.-Y. Lee, Y.-C. Lee // Transactions of KSAE. – 2016. – Vol. 24. – № 2. – P. 137–143. DOI 10.7467/KSAE.2016.24.2.137.

REFERENCES

1. Posmetyev, V. I. Analysis of the influence of traffic modes of a logging tractor with a semi-trailer on the loading of the fifth wheel coupler / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2022. – Vol. 3, No. 3(41). – P. 64–79. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-64-79.

2. Posmetyev, V. I. Results of simulation modeling of the process of supply and distribution of lubricant in the fifth wheel coupler of a logging tractor with a semi-trailer / V. I. Posmetyev, M. V. Drapalyuk, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev // Forestry Engineering Journal. – 2021. – Vol. 11, No. 1(41). – P. 132–146. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/12.

3. Nikonov, V. O. Current state, problems and ways to improve the efficiency of timber road transport / V. O. Nikonov. – Voronezh : Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov, 2021. – 203 p. – ISBN 978-5-7994-0918-0.

4. Posmetyev, V. I. Assessment of the relevance of using a regenerative pneumohydraulic fifth wheel coupler in the design of a logging tractor with a semi-trailer / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, A. V. Avdyukhin // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2021. – Vol. 3, No. 3(37). – P. 76–94. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-76-94.

5. Kim C., Lee S.-Y., Lee Y.-C. (2016) New weight-reduction design of the fifth wheel coupler with a trailer by using topology optimization and durability tests. Transactions of KSAE, Vol. 24, № 2, pp. 137-143. DOI: 10.7467/KSAE.2016.24.2.137.

Секция 8 Современные неразрушающие методы диагностики агрегатов и систем автомобилей

DOI: 10.58168/DPIITT2026_215-220
УДК 620.179.1:621.892:536.2.08

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАСЛА ДЛЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Е.Р. Вернигора[1], В.А. Иванников[1], А.В. Латынин[1], И.Е. Поляков[1], Р.В. Мороз[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
Автор ответственный за переписку: Егор Романович Вернигора, vernigora.egor@inbox.ru

Аннотация. Предложено устройство неразрушающего контроля качества гидравлического масла для лесозаготовительных машин, основанное на измерении теплопроводности в потоке. Конструкция включает фторопластовую трубку, штуцеры и термопары. Обеспечивается непрерывная оценка деградации масла (окисление, загрязнение, обводнение), повышающая надёжность гидропривода.

Ключевые слова: гидравлическое масло, теплопроводность, неразрушающий контроль, лесозаготовительная машина, диагностика, теплофизические параметры.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL SYSTEM FOR HYDRAULIC OIL USED IN LOGGING MACHINES

E.R. Vernigora[1], V.A. Ivannikov[1], A.V. Latynin[1], I.E. Polyakov[1], R.V. Moroz[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
The author responsible for the correspondence: Egor Romanovich Vernigora, vernigora.egor@inbox.ru

Abstract. A device for non-destructive quality control of hydraulic oil for logging machines is proposed; it is based on measuring thermal conductivity in the flow. The design includes a fluoroplastic tube, fittings, and thermocouples. Continuous assessment of oil degradation (oxidation, contamination, water contamination) is provided, which increases the reliability of the hydraulic drive.

Keywords: hydraulic oil, thermal conductivity, non-destructive testing, logging machine, diagnostics, thermophysical parameters

Гидравлические системы лесозаготовительных машин (харвестеров, форвардеров, валочно–пакетирующих машин) работают в тяжелых условиях: высокие давления, переменные нагрузки, широкий диапазон температур, загрязнение абразивными частицами древесной пыли и влагой. Рабочая жидкость (гидравлическое масло) при этом подвергается интенсивному старению, что приводит к изменению ее физико–химических свойств и, как следствие, к отказам гидрооборудования. Традиционные методы контроля качества масла (лабораторный анализ проб, визуальный осмотр, измерение вязкости) требуют остановки машины, отбора проб и времени на анализ, что снижает производи-

© Вернигора Е. Р., Иванников В. А., Латынин А. В., Поляков И. Е., Мороз Р. В., 2026

тельность и не позволяет своевременно обнаружить начало деградации. Поэтому актуальной задачей является разработка средств непрерывного неразрушающего контроля состояния масла, встраиваемых в гидросистему.

Коэффициент теплопроводности масла – один из перспективных показателей, чутко реагирующих на изменения его состава и степени загрязнения. На теплопроводность жидкости влияют молекулярное строение, примеси, вода, продукты окисления и механические частицы. Измеряя теплопроводность в потоке, можно косвенно оценить, насколько масло деградировало, не нарушая при этом его функциональных свойств [1].

В данной работе представлена конструкция простого и технологичного устройства, предназначенного для непрерывного мониторинга теплопроводности гидравлического масла при эксплуатации лесозаготовительной техники.

Современные способы контроля качества гидравлических масел подразделяются на лабораторные и оперативные. Лабораторные методы (ИК–спектроскопия, определение кислотного числа, вязкости, содержания воды и механических примесей) обеспечивают высокую точность, однако требуют отбора проб и больших затрат времени. Оперативные методы, как правило, базируются на измерении электрических параметров (диэлектрической проницаемости, проводимости), оптических характеристик (мутности, цвета) либо вязкости. При этом электрические методы сильно зависят от температуры и наличия воды, а оптические – от загрязнения датчиков. Теплофизические методы, в частности измерение теплопроводности, распространены меньше, но обладают рядом достоинств: слабой чувствительностью к электромагнитным помехам, возможностью работы в потоке и высокой информативностью при обводнении и окислении масла [2].

Существуют устройства, основанные на методе нагретой нити или плоского зонда и предназначенные для измерения теплопроводности жидкостей. Однако в большинстве своём они рассчитаны на лабораторные условия и не приспособлены к высоким давлениям и вибрациям, характерным для гидросистем мобильных машин. В предлагаемом устройстве эти недостатки устранены за счёт простой и прочной конструкции, выполненной на основе трубки из фторопласта.

Представленное на рисунке 1 устройство выполнено в виде цилиндрической измерительной ячейки из фторопласта (политетрафторэтилена). Фторопласт был выбран благодаря следующим свойствам:

низкая теплопроводность – 0,25 Вт/(м·К), что позволяет эффективно изолировать внутренний объём ячейки от внешней среды;

высокая химическая стойкость к агрессивным компонентам масла;

широкий рабочий диапазон температур: от –269 до +260 °С;

хорошая технологичность при обработке и слабое прилипание загрязнений.

В торцы трубки герметично вмонтированы металлические штуцеры для подключения к гидравлической магистрали (например, через байпасную линию или непосредственно в разрыв трубопровода). Внутренний диаметр трубки подбирается таким образом, чтобы обеспечить ламинарный режим течения масла и достаточную длину для формирования теплового пограничного слоя. В стенку трубки или непосредственно в поток (через отверстия в стенке) введены несколько термопар (хромель–алюмелевых или медь–константановых) для измерения температуры масла в различных точках по длине и/или радиальному сечению.

В простейшем варианте используются две термопары: одна на входе, другая на выходе из трубки. Дополнительно может быть установлена термопара, измеряющая температуру наружной стенки трубки, и термопара окружающей среды.



Рисунок 1 – Схема измерительной ячейки
Figure 1 – Diagram of the measuring cell

Работа устройства основана на явлении конвективного теплообмена между потоком масла и стенкой трубки. Фторопластовая стенка обладает высоким термическим сопротивлением, поэтому температура ее внутренней поверхности близка к температуре масла, а наружной – к температуре окружающей среды. При протекании масла через трубку часть тепловой энергии передается от масла к стенке и рассеивается в окружающую среду. Интенсивность этого процесса зависит от коэффициента теплопроводности масла: чем выше теплопроводность, тем эффективнее тепло передается от ядра потока к стенке, и тем быстрее снижается температура масла по длине трубки.

Если известны расход масла, геометрические параметры трубки, температуры на входе и выходе, а также температура окружающей среды, то на основе решения уравнения теплового баланса можно вычислить эффективный коэффициент теплопередачи, который монотонно связан с коэффициентом теплопроводности масла. Для повышения чувствительности и исключения влияния расхода может использоваться импульсный нагрев: внутри трубки размещается тонкий проводник (нихромовая нить), который кратковременно нагревается электрическим током, а термопары фиксируют динамику изменения температуры масла вблизи нити. Скорость нарастания и спада температуры зависит от теплопроводности окружающей жидкости [3].

В описываемом устройстве термопары выполняют двойную функцию: измеряют температуру потока и (при необходимости) используются как часть измерительной схемы для регистрации теплового отклика на тепловой импульс. Для упрощения конструкции в базовом варианте предлагается использовать пассивный метод, основанный на естественном градиенте температуры, возникающем из–за разницы температур масла и окружающей среды.

Методика калибровки

Для перехода от измеряемых температур к значению теплопроводности необходима предварительная калибровка устройства на жидкостях с известными теплофизическими свойствами. Калибровочная зависимость строится в координатах «разность температур на входе и выходе – коэффициент теплопроводности» при фиксированных расходах и температуре окружающей среды. В процессе эксплуатации измеренные значения сравниваются с эталонными для свежего масла данной марки, и по отклонению делается вывод о степени деградации [4].

Для подтверждения работоспособности предлагаемого устройства были проведены лабораторные испытания на стенде, имитирующем гидравлическую систему. В качестве модельных жидкостей использовались свежее гидравлическое масло МГ–46, а также образцы с добавлением 1%, 3% и 5% воды и механических примесей (кварцевая пыль). Устройство подключалось к байпасной линии с регулируемым расходом от 0,5 до 2 л/мин. Температура масла на входе поддерживалась равной 60±1 °C, температура окружающей среды – 20±1 °C.

Результаты, представленные на рисунке 2, показывают, что разность температур между входом и выходом измерительной трубки изменяется в пределах 8–15 °C и монотонно возрастает с увеличением содержания воды и примесей. Так, для свежего масла разность составила 9,2 °C, для масла с 3% воды – 12,7 °C, с 5% воды и примесями – 14,3 °C. Это объясняется повышением теплопроводности загрязненного масла (вода имеет теплопроводность около 0,6 Вт/(м·К), что выше, чем у чистого масла ~0,13–0,15

Вт/(м·К)). Полученная зависимость позволила с погрешностью не более 7% определять коэффициент теплопроводности в диапазоне 0,12–0,25 Вт/(м·К).

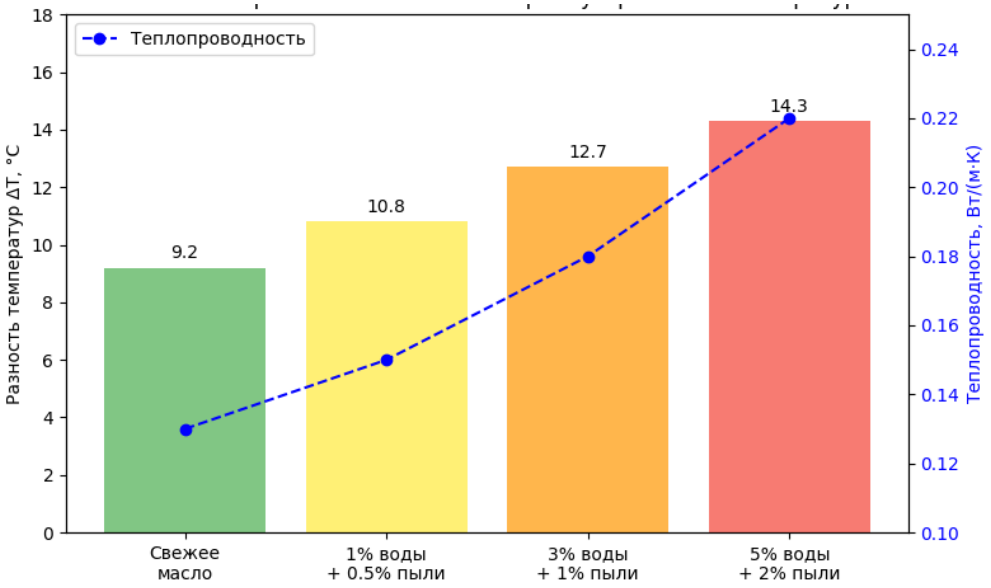


Рисунок 2 – Зависимость разности температур от степени загрязнения масла
Figure 2 – The dependence of the temperature difference on the degree of oil contamination

Внедрение в гидросистему лесозаготовительной машины

Предлагаемое устройство вмонтировано в гидравлическую систему лесозаготовительной машины последовательно (в разрыв магистралей) с использованием трёх измерительных ячеек, установленных в ключевых точках гидравлического контура рисунок 3 [5].

Измерительная ячейка 1 размещена в напорной магистрали после насоса перед распределителем. Она позволяет контролировать состояние масла непосредственно на выходе из насоса, фиксируя его нагрев и возможную деградацию под воздействием высокого давления.

Измерительная ячейка 2 установлена после распределителя перед гидроцилиндром. Это дает возможность оценивать теплопроводность рабочей жидкости, поступающей непосредственно в исполнительный механизм, что важно для контроля эффективности работы гидроцилиндра.

Измерительная ячейка 3 находится в сливной магистрали после гидроцилиндра перед баком. Она отслеживает состояние масла после совершения работы, позволяя выявлять продукты износа, обводнение и окисление, накопленные в процессе цикла.

Преимущества данной схемы:

Последовательное включение трех ячеек обеспечивает контроль всего потока рабочей жидкости на разных этапах цикла. Сравнение показаний теплопроводности и температуры между ячейками 1, 2 и 3 дает более полную и объективную картину деградации масла и позволяет локализовать источник загрязнения или перегрева (например, неисправность насоса или износ гидроцилиндра).

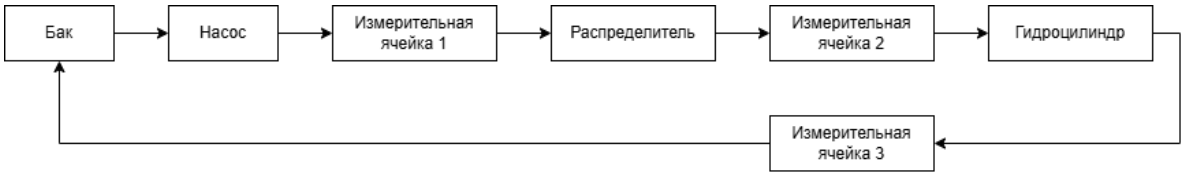


Рисунок 3 – Схема подключения устройства в гидросистему

Особенности реализации:

Основным недостатком последовательной схемы является дополнительное гидравлическое сопротивление, вносимое тремя ячейками, однако оно компенсируется высокой информативностью диагностики. Для защиты от вибраций и механических повреждений трубки помещаются в металлический кожух с теплоизоляцией. Сигналы термопар от всех трёх ячеек через аналого–цифровой преобразователь подаются в бортовой контроллер. Алгоритм рассчитывает текущую теплопроводность для каждой точки и сопоставляет полученные значения с пороговыми. Если параметры выходят за допустимые границы или показания ячеек существенно расходятся, формируется предупреждение для оператора либо автоматический запрос на замену масла [6].

Заключение

Создано и экспериментально проверено устройство для неразрушающего контроля качества гидравлического масла, принцип работы которого основан на измерении теплопроводности масла в потоке. Простая, недорогая и надёжная конструкция представляет собой фторопластовую трубку со встроенными штуцерами и термопарами. С его помощью можно непрерывно фиксировать изменения теплофизических свойств масла, обусловленные обводнением, окислением и загрязнением; это особенно актуально для лесозаготовительной техники, работающей в отдалённых районах. Если включить такое устройство в бортовую диагностическую систему, появится возможность перейти от планово–предупредительного обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию, а также уменьшить простои и затраты на ремонт гидрооборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплофизические методы оперативного контроля состояния гидравлических систем автотранспортных средств / Е. Р. Вернигора, В. А. Иванников, М. Л. Шабанов [и др.] // Современные технологии и системы на транспорте: проблемы и перспективы: Материалы Международной научно–практической конференции, Воронеж, 23–24 апреля 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2026. – С. 241–246. – DOI 10.58168/MTST2026_241–246. – EDN RGXQLD.

2. Мяло, В. В. Контроль качества нефтепродуктов / В. В. Мяло, О. В. Мяло, Е. В. Демчук // Электронный научно–методический журнал Омского ГАУ. – 2023. – № 3(34). – EDN KWVAPN.

3. Васильева, Л. С. Химмотология топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей для автомобильного транспорта. Показатели качества. Классификация. Ассортимент. Оценка показателей качества и результатов испытаний: учеб. пособие для студ. вузов / Л. С. Васильева, Ю. В. Панов, А. А. Хазиев, А. В. Лаушкин; под ред. Л. С. Васильевой. – Москва: МАДИ, 2020. – 164 с.

4. Васильева Л.С., Панов Ю.В., Хазиев А.А., Лаушкин А.В. Химмотология топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей для автомобильного транспорта. – М., 2020. – 164 с.

5. Применение методов тепломассообмена для оперативного контроля деградации гидравлических масел / Е. Р. Вернигора, В. А. Иванников, А. Н. Швырев [и др.] // Промышленная теплоэнергетика : Материалы Национальной научно–практической конференции, Воронеж, 18 марта 2026 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2026. – С. 40–48. – DOI 10.58168/IndTPEng2026_40–48.

6. Бойко, Н. З. Рабочие жидкости, смазки и уплотнения: учебное пособие / Н. З. Бойко. – Алчевск: ГОУВПО ЛНР "ДонГТУ", 2018. – 204 с.

REFERENCES

1. Thermophysical methods for operational monitoring of the condition of hydraulic systems in motor vehicles / E. R. Vernigora, V. A. Ivannikov, M. L. Shabanov [et al.] // Modern technologies and systems in transport: problems and prospects: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, April 23–24, 2026. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2026. – Pp. 241–246. – DOI 10.58168/MTST2026_241–246. – EDN RGXQLD.

2. Myalo, V. V. Quality Control of Petroleum Products / V. V. Myalo, O. V. Myalo, E. V. Demchuk // Electronic Scientific and Methodological Journal of the Omsk State Agrarian University. – 2023. – No. 3(34). – EDN KWVAPN.

3. Vasilyeva, L. S. Chemotology of fuels, lubricants and special fluids for road transport. Quality indicators. Classification. Assortment. Evaluation of quality indicators and test results: textbook. student's handbook. universities / L. S. Vasilyeva, Yu.V. Panov, A. A. Khaziev, A.V. Laushkin; edited by L. S. Vasilyeva. – Moscow: MADI, 2020. – 164 p.

4. Vasilyeva L.S., Panov Yu.V., Khaziev A.A., Laushkin A.V. Chemotology of Fuels, Lubricants, and Special Fluids for Motor Vehicles. – Moscow, 2020. – 164 p.

5. Application of heat and mass transfer methods for operational monitoring of hydraulic oil degradation / E. R. Vernigora, V. A. Ivannikov, A. N. Shvyrev [et al.] // Industrial Heat and Power Engineering: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference, Voronezh, March 18, 2026. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2026. – Pp. 40–48. – DOI 10.58168/IndTPEng2026_40–48.

6. Boyko, N. Z. Working Fluids, Lubricants and Seals: a textbook / N. Z. Boyko. – Alchevsk: State Educational Institution of Higher Professional Education of the LPR “DonSTU”, 2018. – 204 p.

Секция 9 Управление техническим состоянием транспортных средств в течение их жизненного цикла

DOI: 10.58168/DPIITT2026_221-225
УДК 629.36:62–181,2:621.086 (045)

АЛГОРИТМ УСТРАНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНОЙ И КАРЬЕРНОЙ ТЕХНИКИ CATERPILLAR

А.В. Кучин[1], В.Д. Лебедев[1], Т.В. Кукушкин[1]
[1]Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
Автор, ответственный за переписку: Александр Ванипакович Кучин, akouchine@rambler.ru

Аннотация. В статье приводится алгоритм устранения технических неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации горной и карьерной техники ***Caterpillar***. Алгоритм разработан на основе анализа использования системы ***Product Link*** для поиска причин отказов и неисправностей по зарегистрированным кодам событий.

Ключевые слова: система удалённого мониторинга, зарегистрированный код события, датчики температуры, алгоритм устранения технических неисправностей.

ALGORITHM FOR RESOLVING TECHNICAL MALFUNCTIONS THAT ARISE DURING THE OPERATION OF CATERPILLAR MINING AND QUARRY EQUIPMENT

A.V. Kuchin[1], V.D. Lebedev[1], T.V. Kukushkin[1]
[1]Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Abstract. The article presents an algorithm for eliminating technical malfunctions that occur during the operation of Caterpillar mining and quarry equipment. The algorithm was developed based on an analysis of the use of the Product Link system to identify the causes of failures and malfunctions based on registered event codes.

Keywords: remote monitoring system, registered event code, temperature sensors, algorithm for eliminating technical malfunctions.

В последние десятилетия уровень цифровизации в системах управления, дистанционного мониторинга и диагностики транспортно–технологических машин (ТТМ), таких как горная и карьерная техника, лесозаготовительные комплексы, многооперационные сельскохозмашины привел к кардинальному изменению системы сервисного обслуживания и ремонта этой техники [1, 2, 3].

В такой отрасли экономики, как добыча природных ресурсов, недопустимы простои ТТМ, так как это приводит к существенным потерям и снижает эффективность полного цикла технологической цепочки. Повышение эффективности эксплуатации горной и карьерной техники является актуальной задачей всех горнодобывающих компаний.

Цель настоящей работы – разработка алгоритма устранения технических неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации горной и карьерной техники ***Caterpillar***. Для достижения этой цели были решены две задачи:

© Кучин А. В., Лебедев В. Д., Кукушкин Т. В., 2026

–°анализ применения системы дистанционного мониторинга ***Product Link*** при эксплуатации горной и карьерной техники ***Caterpillar*** в условиях Быстринского горно-обогатительного комбината ПАО «ГМК Нори́льский ни́кель»;

–°анализ вариантов устранения неисправностей горной и карьерной техники ***Caterpillar*** за пределами руководства по ремонту**.**

Дистанционный мониторинг на базе информационного сервиса ***Cat Product Link*** обеспечивает эффективную эксплуатацию ТТМ на всех этапах технологического цикла предприятия (S.I.S. Caterpillar, 2018: 05) [4]. Поиск неисправностей узлов и агрегатов горной и карьерной техники ***Caterpillar*** в системе ***Product Link*** предполагает использование руководства по ремонту соответствующей машины при реагировании на сообщения по зарегистрированным кодам события. Однако более чем в половине случаев это не дает результата. Анализ информации из системы ***Product Link*** по зарегистрированным кодам события на примере эксплуатации самосвала CAT 789D позволил разработать алгоритм поиска причин возникновения технических проблем систем, узлов и агрегатов ТТМ.

Нами были изучены наиболее часто встречающиеся зарегистрированные коды событий от группы карьерных самосвалов CAT 789D, поступающие в серверный центр службы главного механика. В таблице 1 представлены наиболее часто встречающиеся сообщения о зарегистрированных кодах событий (сообщения переведены на русский язык) этой группы карьерной техники.

Таблица 1

Зарегистрированные коды событий в системе ***Cat Product Link***

Table 1

Event codes registered in the ***Cat Product Link*** system

Код	Описание события
E199 (1)	Низкая температура охлаждающей жидкости
E278 (2)	Высокая разность температур выхлопных газов на выхлопных коллекторах
E360 (3)	Низкое давление моторного масла ДВС
342– 8	Вторичный датчик частоты вращения двигателя: аномальная частота, длительность импульса или период
4– 6	Форсунка цилиндра №4: Ток выше нормы
724– 5	Соленоид выдвижения подъемника: Ток ниже нормы
672– 2	Датчик частоты вращения выходного валагидротрансформатора: нестабильный сигнал, прерывистый сигнал, неточный показания
700– 2	Датчик частоты вращения выходного вала коробки передач: нестабильный сигнал, прерывистый сигнал, неточный показания
708– 5	Отключение соленоида привода трансмиссии: ток ниже нормы
718–14	Трансмиссия: специальная инструкция
826– 3	Датчик температуры масла гидротрансформатора: обрыв цепи, короткое замыкание, выход датчика из строя (выходной сигнал (напряжение) превышает заданный калибровочный диапазон)
190– 2	Датчик частоты вращения коленчатого вала: нестабильный сигнал, прерывистый сигнал, неточный показания

Проведенный нами анализ обработки зарегистрированных кодов событий с последующим поиском и устранением неисправностей показал, что наиболее сложным и трудоемким оказался процесс устранения неисправностей по полученному сообщению о зарегистрированном коде события E278 (2) «Высокая разность температур выхлопных газов на выхлопных коллекторах». Для его устранения пришлось последовательно использовать все этапы поиска.

На рисунке 1 приводится мониторинговая формулировка о зарегистрированном коде события Е278 (2) – «Высокая разность температур выхлопных газов на выхлопных коллекторах». Для работы по диагностике и устранению причины возникшей неполадки подключается информационная система ***«Elektrical technic» (ET)***.

Logged Event Codes [Diagnostic Clock = 59051 hours] - 3516C 789D (B8F00926)

Code	Description	Occ.	First	Last
E278 (2)	High Exhaust Differential Temperature	86	58934	59049

Рисунок 1. – Сообщение системы Product Link о зарегистрированном коде события.
Figure 1. – Product Link system message regarding a logged event code.

Пошаговая инструкция по устранению неполадок по зарегистрированному коду события Е278°(2) регламентирует оценку трех рабочих параметров ТТМ: величину атмосферного давления; температуру воздуха во впускном коллекторе; частоту вращения выходного вала двигателя. Приведенные параметры регистрирует бортовой компьютер самосвала. Регламентная работа согласно пошаговой инструкции по устранению неисправности результатов не дала.

Исходя из опыта эксплуатации дизельных ДВС ***Caterpillar*** одной из причин неполадок по коду Е278°(2) может быть избыток подачи топлива на цилиндры. Датчики расхода топлива дизельных ДВС ***Caterpillar*** в режиме реального времени передают актуальную информацию на диагностический комплекс ***ET.*** Анализ этого показателя показал, что критические отклонения в дозировании подачи топлива в цилиндры ДВС отсутствуют. Перелив топлива в цилиндрах отсутствует и не вызывает значимых изменений температуры отработавших газов в одном из выходных коллекторов.

На третьем этапе работы был проведен углубленный анализ данных ***Product Link*** через диагностический комплекс ***ET.*** Для анализа использовалась регистрируемая в режиме реального времени информация о диапазонах изменения ключевых параметров работы ДВС. Это и позволило зафиксировать разницу температур между правым и левым коллектором. Дисбаланс температур превышает допустимый диапазон (50°С). Для уточнения времени момента срабатывания и продолжительности события по коду Е278°(2) с помощью диагностического комплекса ***ET*** был изучен график температурного разброса отработавших газов. В результате удалось выявить, что наибольший разброс температур произошел в начале движения после загрузки самосвала породой и наборе оборотов двигателя в этот момент времени. Построение графика в аномальной зоне показало, что температуры в левом выпускном коллекторе и в правом выпускном коллекторе имеют разницу в 81 градус. Время разрыва температуры составляет 15 секунд, и далее выравниваются. Использование данных наддува позволило выявить взаимосвязь между повышением нагрузки на ДВС и ростом разницы температур.

Проделанная работа по поиску неисправностей по зарегистрированному коду события Е278°(2) позволила обнаружить причину события – нештатную работу датчика температуры выхлопных газов в период разогрева до рабочей температуры (рабочая температура составляет 500–600°С). После замены неисправного датчика сообщения о зарегистрированном коде события прекратились.

На основе проделанной работы нами был разработан алгоритм устранения технических неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации горной и карьерной техники Caterpillar. Алгоритм, представленный на рисунке 2, последовательно отражает три этапа поиска работы. Первый этап (п.п. 3) предполагает использование пошаговой инструкции устранения неисправности по зарегистрированному коду события в соответствии руководством.

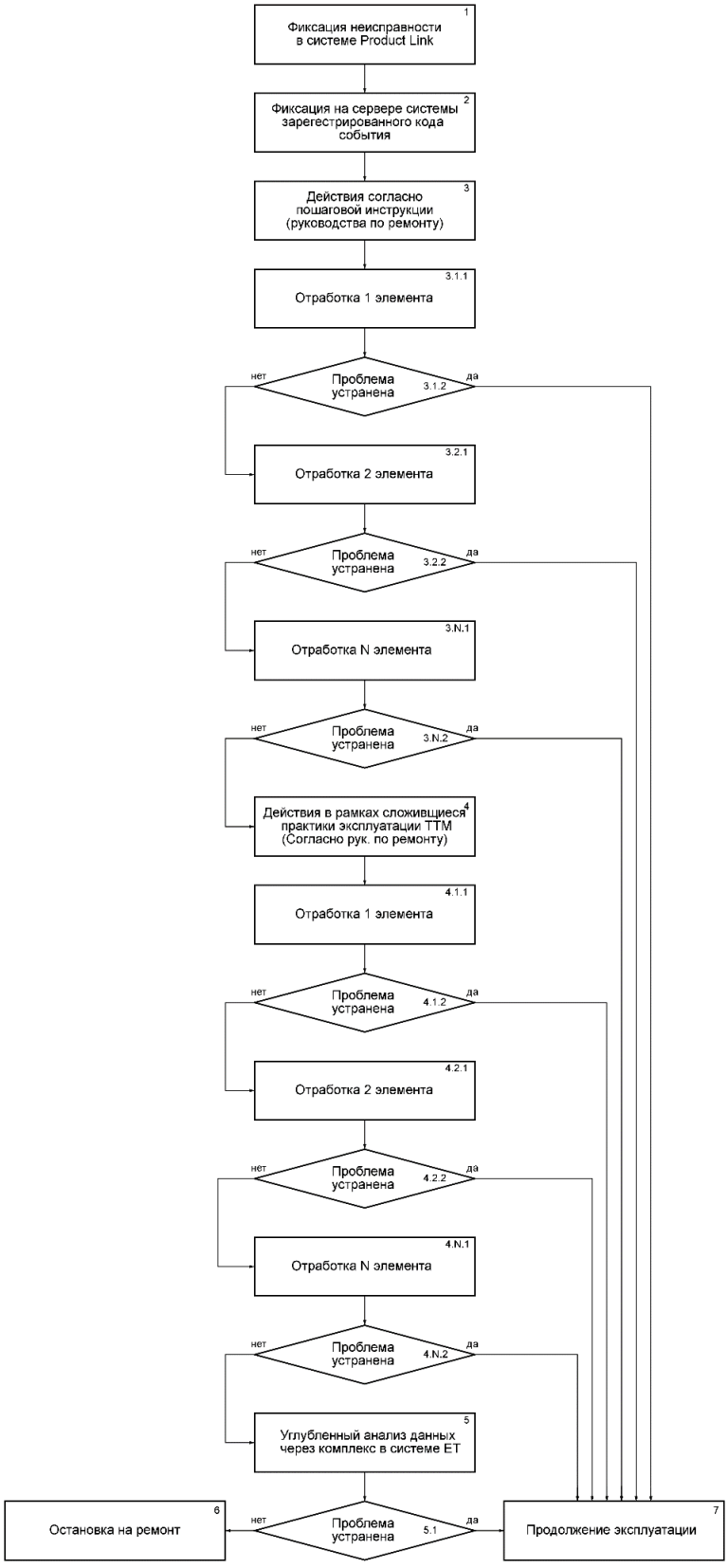


Рисунок 2. – Алгоритм устранения технических неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации горной и карьерной техники ***Caterpillar***

Figure 2. – Algorithm for troubleshooting technical malfunctions occurring during the operation of ***Caterpillar*** mining and quarrying equipment

Отработка элементов пошаговой инструкции (в нашем случае трех) результата не дала. Второй этап (п.п. 4) предполагает действия службы текущего ремонта на основе опыта эксплуатации карьерных самосвалов CAT°789D. Последовательно отрабатывается несколько элементов, при которых возникает неисправность по зарегистрированному коду события. Второй этап результата также не принес результатов. Третий этап (п.п. 5) предполагает проведение углубленного анализа данных системы ***Product Link*** через диагностический комплекс ***«Elektrical technic» (ET).*** Этап использует «большие данные», а именно информацию, которая регистрируется с датчиков ТТМ в непрерывном режиме работы**.** Это позволяет детализировать критические изменения технических параметров работы ТТМ на коротких периодах высокой нагрузки на основные системы и агрегаты машины, выявить причину возникновения технической проблемы и своевременно принять меры к ее устранению.

Именно на третьем этапе удалось выявить неисправность по зарегистрированному коду события E278 (2), которая свелась к замене датчика температуры.

Разработанный нами алгоритм может быть использован как элемент программы дистанционного мониторинга горной и карьерной техники на месторождениях твердых полезных ископаемых для повышения эффективности эксплуатации технологического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурский А.С. Использование транспортной телематики и дистанционной диагностики для совершенствования технического обслуживания и ремонта транспортных средств / А.С. Гурский, В.С. Ивашко // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка–тэхнічных навук. – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 375–383.

2. Клебанов А. Ф. Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала / А.Ф. Клебанов, Д.Н. Сиземов, М. В. Кадочников // Горная промышленность. – 2020. – № 2. – С. 75–81.

3. Фукс, В. А. Универсальная система удаленной диагностики транспортных средств / В. А. Фукс // Молодой ученый. – 2019. – № 12 (250). – С. 40–44. – URL: https://moluch.ru/archive/250/57408/ (дата обращения: 21.09.2026).

4. Service Information System ver. 2.0 (S.I.S.) Caterpillar / Caterpillar Inc. – Версия 2.0. – URL: sis2.cat.com (дата обращения: 21.09.2026).

REFERENCES

1. Gursky A.S. Using transport telematics and remote diagnostics to improve the maintenance and repair of vehicles / A.S. Gursky, V.S. Ivashko // Vestsi of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Physical and Technical Sciences. – 2020. – Vol. 65, No. 3. – Pp. 375–383.

2. Klebanov A. F. An integrated approach to remote monitoring of the technical condition and operating modes of a mining dump truck / A. F. Klebanov, D. N. Sizemov, M. V. Kadochnikov // Mining Industry. – 2020. – No. 2. – Pp. 75–81.

3. Fuchs, V. A. Universal system of remote diagnostics of vehicles / V. A. Fuchs // Young Scientist. – 2019. – № 12 (250). – Pp. 40-44. – URL: https://moluch.ru/archive/250/57408 / (date of access: 09/21/2026).

4. Service Information System ver. 2.0 (S.I.S.) Caterpillar / Caterpillar Inc. – Version 2.0. – URL: sis2.cat.com (accessed: 21.09.2026).

Секция 10 Общие вопросы организации учебного процесса в высшей школе в рамках укрупненной группы 23.00.00

DOI: 10.58168/DPIITT2026_226-228
УДК 796.011

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕСТОВ В ТРЕНИРОВКЕ ПЛОВЦОВ

И.В. Григорьева[1], Е.Г. Волкова[1], А.М. Протопопов[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия, griiya@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема получения срочной информации о функциональном состоянии пловцов в процессе тренировки. Представлены простые контрольные упражнения, не требующие сложной аппаратуры и позволяющие оценить психическую готовность спортсмена, степень восстановления, переносимость нагрузок и эффективность тренировочного воздействия.

Ключевые слова: тренировка пловцов, срочная информация, функциональное состояние, контрольные упражнения, тренировочные нагрузки.

THE USE OF TESTS IN SWIMMER TRAINING

I.V. Grigorieva[1], E.G. Volkova[1], A.M. Protopopov[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia, griiya@mail.ru

Abstract. The article addresses the issue of obtaining immediate information on the functional state of swimmers during training. Simple monitoring exercises are presented that do not require complex equipment and allow for the assessment of an athlete's mental readiness, recovery status, tolerance to training loads, and the effectiveness of the training stimulus.

Keywords: training of swimmers, urgent information, functional state, control exercises, training loads.

Современная тренировка высококвалифицированных пловцов характеризуется исключительно большим объемом тренировочных упражнений и повышенной интенсивностью их выполнения. Одна из необходимых предпосылок для оптимального управления тренировочным процессом, в частности для правильного распределения нагрузок, заключается в получении во время тренировки срочной и возможно более полной информации о функционировании важнейших систем организма, обеспечивающих мышечную деятельность.

Срочная информация в тренировочном процессе может быть обеспечена с помощью простых контрольных упражнений, занимающих минимальное время и «вписывающихся» в программу тренировочного занятия [1].

В процессе многолетней практики был отобран целый ряд контрольных упражнений, позволяющих без сложной аппаратуры, с минимальной затратой времени и сил получать срочную информацию о функциональном состоянии спортсмена и переносимости им включаемых в тренировку нагрузок.

По периодам применения контрольные упражнения можно разделить на текущие (применяемые в начале, конце и середине тренировочного занятия) и периодические, в свою очередь, состоящие из трех видов:

© Григорьева И. В., Волкова Е. Г., Протопопов А. М., 2026

а) контрольных упражнений, применяемых в конце определенного микроцикла;

б) употребляемых в конце определенного тренировочного этапа;

в) упражнений, характеризующих динамику роста результатов по циклам и годам.

Средства каждой из перечисленных групп решают определенные задачи и имеют свои характеристики.

В данной статье разбираются отдельные текущие контрольные упражнения.

1–е контрольное упражнение. Его задачи:

а) выяснить психическое состояние спортсмена, его готовность к тренировке или соревнованию;

б) определить степень восстановления пловца после тренировочной работы, проделанной накануне;

в) изучить воздействие тренировочных упражнений, применяемых в данной тренировке [2].

Содержание 1–го упражнения.

Пловец должен проплыть 2 раза по 25 м своим способом, с толчка (старт из воды, толчком от стенки). Интенсивность выполнения – 95% от максимальной на данный период, интервал отдыха между отрезками 2 мин.; упражнение выполняется после разминки.

Время проплывания каждого отрезка спортсмен должен определить сам. Ошибка в оценке времени, сравнение показанных результатов с прошедшими, а также визуальная оценка тренером техники позволяет судить о психическом состоянии спортсмена перед тренировкой. Особенно полезно это упражнение перед соревновательным стартом (на разминке).

Обычно наблюдаются два варианта:

а) спортсмен значительно ошибается в оценке времени, а его результат намного выше обычного тренировочного и б) спортсмен точен в оценке, и результат его почти не отличается от обычных.

В первом случае спортсмен сильно волнуется, снижает контроль за своими действиями. В результате – потеря «чувства времени», чувства оптимального темпа и в итоге, как правило, плохой результат. Необходимо в этом случае применить ряд упражнений или действий, направленных на то, чтобы успокоить спортсмена, снять нервное напряжение. Во втором случае спортсмен выступает в соревнованиях, как правило, более успешно.

По выполнению описываемого упражнения после тренировки можно судить о степени утомления спортсмена. Снижение показателей после проделанной тренировочной работы предполагает значительное воздействие тренировочной нагрузки и наоборот.

2–е контрольное упражнение – 50–метровое проплывание (функциональная проба).

Содержание 2–го упражнения.

После разминки и отдыха испытуемый должен проплыть 50–метровый отрезок своим способом с толчка, с интенсивностью 90% от максимальной. Затем ему следует субъективно оценить время, а также самостоятельно подсчитать и зарегистрировать на карточке частоту пульса в течение 3 мин. (последовательно, по 10–секундным отрезкам). Эта проба позволяет оценить степень восстановления организма спортсмена после тренировочной работы, выполненной накануне (по реакции ССС и скорости восстановления ЧСС), его психическое состояние (по величине ошибки субъективной оценки результата), работоспособность в данный момент (по педагогическим наблюдениям за правильностью и устойчивостью техники). Применяя пробу после тренировки и сравнивая ее показатели с данными, полученными перед тренировкой, можем судить о характере воздействия на пловца тех или иных тренировочных упражнений, используемых в занятии.

Тренировочное занятие по данным 50–метровой функциональной пробы можно оценить следующим образом:

1. Воздействие основных упражнений оказывается весьма умеренным, о чем свидетельствуют следующие моменты:

а) увеличивается незначительно частота сердечных сокращений после пробы;

б) до исходных величин ЧСС восстанавливается весьма быстро;

в) субъективная оценка времени проплывания 50–метровых отрезков и до и после тренировки имеет весьма незначительные расхождения с действительным временем. Таким образом, мы можем сказать, что тренировка, небольшая по объему и незначительная по интенсивности, носит восстановительный характер [3].

2. Наблюдаемая нами так называемая «отрицательная фаза пульса», т. е. снижение ЧСС в восстановительном периоде ниже исходного уровня, по нашему мнению, свидетельствует о хорошей тренированности.

Плавное, замедленное восстановление ЧСС после тренировочной работы с незначительной «отрицательной фазой пульса» свидетельствует о большом воздействии на спортсмена как тренировочных упражнений тренировки, так и суммарной тренировочной работы данного микроцикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьева И. В. Учет индивидуальных особенностей в различных видах спорта / И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, Е. Н. Петров // Вестник Воронежского института высоких технологий. № 4 (19), 2016. – С. 125–126.

2. Григорьева И. В. Спорт и социальная активность личности / И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова // Моделирование систем и информационные технологии: сборник научных трудов. Воронеж, 2010. – Вып. 7. – С. 364–366.

3. Григорьева И. В. Использование интервального метода тренировки в развитии скоростных возможностей и специальной выносливости пловцов / И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, А. М. Протопопов // Международная научно–практическая конференция, приуроченная к 95–летию ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ. – Чебоксары, 2026. – С. 1064–1068.

REFERENCES

1. Grigorieva I. V. Taking into account individual characteristics in various sports / I. V. Grigorieva, E. G. Volkova, E. N. Petrov // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. № 4 (19), 2016. – pp. 125–126.

2. Grigorieva I. V. Sports and social activity of the individual / I. V. Grigorieva, E. G. Volkova // Modeling of systems and information technology: collection of scientific papers. Voronezh, 2010. – Issue 7. – pp. 364–366.

3. Grigoryeva I. V. Use of the interval training method to develop speed capabilities and specific endurance in swimmers / I. V. Grigoryeva, E. G. Volkova, A. M. Protopopov // International Scientific and Practical Conference Marking the 95th Anniversary of the Chuvash State Agrarian University. – Cheboksary, 2026. – pp. 1064–1068.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_229-232
УДК 796.011

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ОТДЫХА В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩЕГО УТОМЛЕНИЯ

И.В. Григорьева[1], Е.Г. Волкова[1], А.М. Протопопов[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия, griiya@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема ускорения восстановительных процессов у спортсменов в условиях высоких тренировочных нагрузок. В эксперименте на пловцах сравнивалось влияние пассивного отдыха, активного отдыха, комбинированного массажа и аутогенного воздействия (психорегулирующей тренировки) на динамику восстановления работоспособности при разной степени утомления.

Ключевые слова: восстановительные процессы, утомление, активный отдых, пассивный отдых, аутогенное воздействие, частота пульса, минутный объем дыхания, плавание.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS REST OPTIONS UNDER CONDITIONS OF INCREASING FATIGUE

I.V. Grigorieva[1], E.G. Volkova[1], A.M. Protopopov[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia, griiya@mail.ru

Abstract. The article examines the issue of accelerating recovery processes in athletes subjected to high training loads. An experiment involving swimmers compared the effects of passive recovery, active recovery, combined massage, and autogenic techniques (psychoregulatory training) on the dynamics of performance recovery at varying levels of fatigue.

Keywords: recovery processes, fatigue, active rest, passive rest, autogenic influence, heart rate, minute ventilation, swimming.

Современный период развития спорта характеризуется значительным увеличением объема и интенсивности тренировочных нагрузок как в ходе недельного (12–15 занятий), так и в процессе месячного, годового тренировочного цикла. Все это вызывает необходимость разработки мероприятий, способствующих повышению спортивной работоспособности, предотвращению возможных отрицательных влияний физических нагрузок и ускорению восстановительных процессов после напряженной мышечной деятельности. В этой связи проблема отдыха, направленного регулирования восстановительных процессов приобретает особую значимость.

Между тем в подавляющем большинстве работ в основном констатируется характер восстановительных процессов (гетерохронность, фазность), особенности ранних и поздних фаз восстановления и т. д. Во многих исследованиях рассматривается влияние определенных методов воздействия – таких как прогрессивная релаксация, массаж (в том числе вибрационный), лекарственные препараты, кислород и специальные диетические составы – на прогрессирование изменений следовых сдвигов работоспособности.

В то же время недостаточно данных для сравнения эффективности различных методов ускорения восстановления силовых показателей после физической нагрузки, а также для оценки различий в их воздействии при разном уровне нагрузки и в условиях

© Григорьева И. В., Волкова Е. Г., Протопопов А. М., 2026

повышенного утомления. Имеются лишь немногочисленные свидетельства того, что «эффект Сеченова» – то есть ускорение восстановления силы – не наблюдается при сильном утомлении.

В последние годы растет интерес к использованию аутогенных воздействий для управления функциональным состоянием спортсменов – непосредственно перед соревнованиями, во время спортивной деятельности и в период восстановления.

Для более рационального управления восстановительными процессами в условиях мышечной деятельности важно сопоставить эффективность различных средств, а также определить особенности влияния их в зависимости от функционального состояния спортсмена, степени развития утомления. Этим и определяется цель данного исследования.

Методология исследования. В ходе исследования изучалось влияние различных видов восстановительных процессов пассивного и активного отдыха (включая массаж и аутогенные методики) – на динамику процесса восстановления. В рамках лабораторного эксперимента активный отдых включал выполнение ряда упражнений с минимальной нагрузкой; они проводились левой рукой в медленном темпе (одно движение каждые две секунды) с использованием веса, составляющего 20% от максимального. В плавании в виде «переключения» использовалось в период отдыха умеренное проплывание той же дистанции другим способом (брассом для плавающих кролем на груди и на спине и кролем на спине для плавающих брассом).

Комбинированный массаж представлял собой чередование ручного массажа с вибрационным.

Методика самовнушения (психорегулирующая тренировка), использованная в работе, подробно изложена в методическом письме Л. Д. Гиссена, А. В. Алексеева, подготовленном в секторе спортивной психологии ВНИИФКа (1969). Многократное повторение (5–10 попыток с 3–минутными интервалами отдыха) упражнений на кистевом эргографе и на специальном полидинамометре, а также в начале и в конце тренировочных занятий по плаванию позволило провести сравнительный анализ влияния используемых средств на восстановительные процессы. Обследовано 26 пловцов I разряда, кандидатов в мастера и мастеров спорта. Помимо регистрации показателей силы и мощности, измерялись частота дыхания, артериальное давление и минутный объем дыхания.

Было установлено, что трехминутного периода отдыха недостаточно для восстановления работоспособности. Вследствие этого результаты выполнения работы во время второго теста (с использованием ручного эргографа и динамографа) оказались хуже, чем в первом случае.

Выявленные особенности были обусловлены характером изменений в выполняемой физической работе. Эти изменения мышечной активности сопровождались специфическими реакциями со стороны дыхательной и сердечно–сосудистой систем. При интенсивной работе с динамографом минутный объем дыхания достигал 25 л, частота сердечных сокращений – 144 уд/мин, а пиковое артериальное давление – 133 мм рт. ст.

Восстановление мышечных и вегетативных функций происходило быстрее при использовании активного отдыха, методов аутогенной тренировки и комбинированного массажа, чем при пассивном отдыхе. Наилучшие результаты были получены при сочетании массажа с последующим активным отдыхом и методами аутогенной тренировки, тогда как при простом спокойном дыхании результаты оказались менее высокими.

Анализ сдвигов минутного объема дыхания показал, что существенных различий при использованных нами воздействиях не отмечалось. В то же время при активном отдыхе и комбинированном массаже зарегистрирована большая частота пульса. Таким об-

разом, более высокая скорость восстановления, наблюдаемая при использовании активного и комбинированного массажа, сопровождалась более выраженным повышением частоты сердечных сокращений (ЧСС) в восстановительный период [1].

При повторении максимальной мышечной нагрузки с интервалами отдыха, недостаточными для полного восстановления, нагрузка от попытки к попытке возрастала, что сопровождалось более значительными изменениями функций дыхания и кровообращения.

В условиях дефицита времени (при высокой плотности нагрузки) положительный эффект активного восстановления не наблюдался, а степень восстановления была ниже по сравнению с пассивным восстановлением. Обращает на себя внимание и тот факт, что активный отдых в этом случае сопровождался достоверным увеличением (по сравнению с пассивным отдыхом и аутогенным воздействием) минутного объема дыхания, чего не наблюдалось после первой попытки, и частоты сердечных сокращений.

Многократное повторение упражнений также приводило к снижению эффективности комбинированного массажа. Если после первой нагрузки восстановление работоспособности составило при упражнениях на кистевом эргографе 125,7 ± 1,12%, то после пятой лишь 69,24 ± 0,74%. Выявлены особенности и аутогенного воздействия в условиях разной глубины утомления. Установлено, что восстановление мышечной работоспособности при использовании данного психорегулирующего средства происходило быстрее, чем в других условиях отдыха. Отмечалось также относительно небольшое уменьшение психорегулирующего влияния на динамику восстановительных процессов в ходе многократного повторения упражнений. Так, при упражнениях на динамографе восстановление силы снизилось с 60,34 ± 1,36% после первой попытки до 48,03 ± 2,14% после пятой, что заметно меньше, чем при активном отдыхе и комбинированном массаже.

Данные о «суммарной ЧСС» (интегральном показателе частоты сердечных сокращений) в ходе применения различных методов восстановления также важны для оценки эффективности использованных нами восстановительных воздействий. Наибольшее значение было зафиксировано при использовании методов аутогенного воздействия, тогда как наименьшее – при активном восстановлении. Это свидетельствует о значительном повышении ЧСС во время выполнения заключительных заданий (в группе активного восстановления), что указывает на усиление физиологической нагрузки в условиях накопления утомления. Более низкий показатель «суммарной ЧСС», наблюдавшийся при аутогенном воздействии, следует рассматривать как результат более эффективного взаимодействия кожных и мышечных структур при данном двигательном паттерне [2]..

Таким образом, по мере нарастания усталости восстановительный эффект применявшихся нами методов варьировался. Наиболее выраженный эффект наблюдался при использовании метода внутреннего воздействия, за которым следовали пассивное восстановление, массаж и активное восстановление. Результаты исследования свидетельствуют о том, что на восстановительное действие использованных после нагрузки методов влиял уровень усталости.

Данные, полученные в условиях лабораторного эксперимента, были апробированы в процессе тренировочных занятий по плаванию. С этой целью всем испытуемым давалась стандартная разминка, после чего они проплывали дистанцию 100 м в максимальном темпе 4 раза с постоянным интервалом отдыха между попытками. Затем предлагалась одинаковая для всех тренировочная нагрузка, спортсмены выполнили 4 попытки, проплывая в максимальном темпе дистанцию 100 м с теми же интервалами отдыха. Между попытками применялись используемые нами воздействия на восстановление работоспособности спортсмена.

Анализ результатов повторных заплывов на 100 м показал, что после разминки не обнаруживается заметных различий влияния используемых нами средств на динамику

следовых изменений работоспособности. Результаты повторных попыток на 100 м снижались примерно одинаково. В конце тренировочного занятия отмечались отчетливые различия. Наиболее значительный эффект был отмечен при аутогенном воздействии, а наименьший – при активном отдыхе; пассивное восстановление и массаж заняли второе и третье места соответственно.

Выводы

1. Наряду с сочетанием физических упражнений и массажа, значительное влияние на ускорение восстановления после физической нагрузки оказывают аутогенные методы.

2. Наиболее выраженный эффект от сочетания физических упражнений и массажа наблюдался на начальных этапах выполнения упражнений, тогда как действие аутогенных методов было менее явным.

3. По мере нарастания утомления характер стимулирующего воздействия этих методов менялся: эффективность аутогенных методов достигала максимума, в то время как результативность сочетания физических упражнений и массажа возрастала.

4. В тренировочных занятиях по плаванию существенную роль на восстановление работоспособности, особенно в условиях нарастающего утомления, играют аутогенные воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьева И. В. Учет индивидуальных особенностей в различных видах спорта / И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, Е. Н. Петров // Вестник Воронежского института высоких технологий. № 4 (19), 2016. – С. 125–126.

2. Григорьева И. В. Использование интервального метода тренировки в развитии скоростных возможностей и специальной выносливости пловцов / И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, А. М. Протопопов // Международная научно–практическая конференция, приуроченная к 95–летию ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ. – Чебоксары, 2026. – С. 1064–1068.

REFERENCES

1. Grigorieva I. V. Taking into account individual characteristics in various sports / I. V. Grigorieva, E. G. Volkova, E. N. Petrov // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. № 4 (19), 2016. – pp. 125–126.

2. Grigoryeva I. V. Use of the interval training method to develop speed capabilities and specific endurance in swimmers / I. V. Grigoryeva, E. G. Volkova, A. M. Protopopov // International Scientific and Practical Conference Marking the 95th Anniversary of the Chuvash State Agrarian University. – Cheboksary, 2026. – pp. 1064–1068.

DOI: 10.58168/DPIITT2026_233-237
УДК 613.2

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ СТУДЕНТОВ

М.М. Рыбникова[1], А.А. Ларченко[1]
[1]Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия

Аннотация: В данной статье мною рассматриваются основные принципы рационального и сбалансированного питания студентов и учащихся подросткового возраста. Я раскрою такие понятия, как калорийность, белки, жиры и углеводы, рассмотрю их значение для организма, а также расскажу об особенностях формирования полноценного рациона в период обучения.

Особое внимание хочу уделить энергетическим потребностям детей в возрасте от 10 до 19 лет, которые, в свою очередь зависят от возраста, пола, массы тела и уровня физической активности. В статье представлена ориентировочная таблица энергетической ценности и макронутриентов. Отдельно хочу рассмотреть практические способы формирования полезных пищевых привычек и организацию ежедневного рациона.

Моя работа подчёркивает, что рациональное питание не предполагает строгих ограничений или обязательного подсчёта каждой калории. Основным тезисом является разнообразие продуктов, достаточное поступление энергии и питательных веществ, умеренность и регулярность.

Ключевые слова: рациональное питание, здоровое питание, подростки, студенты, учащиеся, КБЖУ, калории, белки, жиры, углеводы, сбалансированный рацион, пищевые привычки, энергетическая потребность.

RATIONAL NUTRITION OF STUDENTS

M.M. Rybnikova[1], A.A. Larchenko[1]
[1]Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

Abstract. In this article, I consider the basic principles of rational and balanced nutrition of students and adolescents. I will reveal concepts such as caloric content, proteins, fats and carbohydrates, consider their importance for the body, and also tell you about the features of forming a full–fledged diet during the training period.

I would like to pay special attention to the energy needs of children aged 10 to 19, which, in turn, depend on age, gender, body weight, and level of physical activity. The article presents an approximate table of energy value and macronutrients. I would also like to consider practical ways to develop healthy eating habits and organize a daily diet.

My work emphasizes that a balanced diet does not require strict restrictions or mandatory counting of every calorie. The main idea is the variety of foods, an adequate intake of energy and nutrients, moderation, and regularity.

Keywords: rational nutrition, healthy eating, teenagers, students, pupils, KBZhU, calories, proteins, fats, carbohydrates, balanced diet, eating habits, energy requirements.

ВВЕДЕНИЕ. Питание является одной из важнейших составляющих здорового образа жизни человека. От качества и количества употребляемой пищи зависит не только обеспечение организма энергией и необходимыми питательными веществами, а также нормальное физическое и интеллектуальное развитие [3].

© Рыбникова М. М., Ларченко А. А., 2026

Немалое значение сбалансированное питание имеет в подростковом возрасте, особенно в период обучения. Организм продолжает расти и развиваться, а учебная деятельность требует высокой концентрации внимания, памяти и умственной работоспособности. Также дополнительную нагрузку создают занятия спортом, подготовка к экзаменам, недостаток сна и высокая повседневная активность.

При этом современные учащиеся часто сталкиваются с нерегулярным режимом питания: пропуск завтрака, употребление большого количества сладких напитков и продуктов быстрого приготовления, игнорирование овощей и фруктов. Современные рекомендации подчеркивают, что здоровый рацион должен обеспечивать достаточное количество энергии и питательных веществ, а его основу – разнообразные продукты с высокой пищевой ценностью. Всемирная организация выделяет четыре основных принципа здорового питания: адекватность, баланс, умеренность и разнообразие.

Формирование представлений о рациональном питании имеет важное профилактическое значение, так как пищевые привычки, сформированные в детском и подростковом возрасте, могут сохраняться и во взрослой жизни.

Поэтому изучение принципов рационального питания и формирование полезных пищевых привычек являются важными составляющими сохранения здоровья учащихся.

ПОНЯТИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ. Рациональное питание – это питание, которое обеспечивает организм необходимым количеством энергии и питательных веществ с учётом возраста, пола, физической активности и индивидуальных особенностей человека.

Основными принципами рационального питания являются: достаточная энергетическая ценность рациона; разнообразие продуктов; достаточное содержание белков, жиров и углеводов; наличие витаминов и минеральных веществ; достаточное количество пищевых волокон; регулярность приёмов пищи; соответствие питания уровню физической активности [1].

Всемирная организация здравоохранения отмечает, что состав здорового рациона может различаться в зависимости от возраста, пола, образа жизни и уровня физической активности человека. При этом общими принципами остаются достаточность, баланс, умеренность и разнообразие.

Рациональное питание не означает полного отказа от определённых продуктов. Главным является общая структура питания и соотношение продуктов в рационе.

Таким образом, здоровое питание следует рассматривать не как кратковременную диету, а как систему повседневных привычек.

ЧТО ТАКОЕ КБЖУ? КБЖУ – это сокращение, которое обозначает четыре основных показателя питания: К – калории; Б – белки; Ж – жиры; У – углеводы.

Калории характеризуют энергетическую ценность пищи. Организм использует полученную энергию для поддержания температуры тела, дыхания, работы внутренних органов, физической активности и других процессов жизнедеятельности.

Белки – являются важнейшими структурными и функциональными компонентами организма. Они участвуют в формировании и восстановлении тканей, работе мышц, образовании ферментов, гормонов и других биологически активных веществ.

Жиры – являются концентрированным источником энергии. Они участвуют в формировании клеточных мембран и необходимы для усвоения жирорастворимых витаминов.

Углеводы – являются одним из основных источников энергии для организма. Углеводы делятся на два вида: сложные (долгие) и легкие (быстрые). При составлении рациона, желательно отдавать предпочтение сложным углеводам: цельнозерновой хлеб, крупы, макароны и бобовые [2].

ЗНАЧЕНИЕ СБАЛАНСИРОВАННОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ. Период обучения характеризуется высокой интеллектуальной нагрузкой. Организму необходимо постоянно обеспечивать мозг и другие органы энергией и питательными веществами.

Сбалансированный рацион помогает поддерживать нормальный уровень энергии и способствует обеспечению организма необходимыми макро– и микронутриентами, особенно важно в период активного роста и развития, для поддержания работоспособности, а также для поддержания иммунитета и здоровья.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОТРЕБНОСТЬ И КБЖУ ПОДРОСТКОВ. Здесь важно понимать одну простую вещь: единой нормы калорий и БЖУ, которая подойдет абсолютно каждому подростку, не существует. Организмы разных людей расходуют разное количество энергии. На потребность в энергии влияют возраст, пол, рост, масса тела, темпы роста, уровень физической и бытовой активностей, занятия спортом и индивидуальные особенности.

Научные рекомендации используют диапазоны распределения энергии между макронутриентами. Для подростков – учащихся 15–19 лет допустимый диапазон составляет 35–60% энергии из углеводов, 25–35% из жиров и 25–35% из белка.

Для возраста 14–18 лет рекомендованное количество белка составляет около 1,2–1,8 г/кг в сутки для юношей и 1,2–1,5 г/кг в сутки для девушек, а минимальное количество углеводов – 130 г/сутки.

ТАБЛИЦА 1 – ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОТРЕБНОСТЬ И КБЖУ ПОДРОСТКОВ

Возраст	**Пол**	**Энергия, ккал/сутки***	**Белок, г/сутки****	**Жиры, % энергии**	**Углеводы, % энергии**
10–14 лет	Девушки	≈ 1700–2300	≥ 34	25–35%	35–60%
10–14 лет	Юноши	≈ 2000–2600	≥ 34	25–35%	35–60%
15–19 лет	Девушки	≈ 2000–2700	≥ 46	25–35%	35–60%
15–19 лет	Юноши	≈ 2300–3500	≥ 52	25–35%	35–60%

* Значения являются ориентировочными. Реальная энергетическая потребность зависит от роста, массы тела и уровня физической активности.

** Значения белка представлены как ориентиры рекомендуемого суточного потребления, а не как индивидуальная цель для каждого подростка [5].

Эту таблицу не стоит использовать как индивидуальный план питания. Подросток, который ежедневно занимается спортом, может нуждаться в существенно большем количестве энергии, чем сверстник с низкой физической активностью.

При наличии медицинских показаний, выраженном дефиците или избытке массы тела либо интенсивных спортивных нагрузках индивидуальный рацион желательно определять совместно с врачом или квалифицированным специалистом по питанию.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЗДОРОВОГО РАЦИОНА.

1. Разнообразие. Не следует постоянно употреблять одни и те же продукты.

2. Овощи и фрукты. Они являются источниками витаминов, минералов и пищевых волокон.

3. Источники белка. В каждом полноценном приеме пищи обязательно должен быть белок: рыба, мясо, яйца, молочные продукты, птица, бобовые.

4. Источники углеводов. Крупы, цельнозерновые продукты, картофель и бобовые должны быть важной частью полноценного рациона.

5. Источники ненасыщенных жиров. Полезными источниками жиров являются рыба, орехи, семена, авокадо и растительные масла.

6. Умеренность. Не стоит отказываться от сладостей или фастфуда вовсе, гораздо

разумнее соблюдать умеренность и не делать продукты с большим количеством сахара, соли и насыщенных жиров основой рациона. Продукты с большим количеством сахаров, соли и насыщенных жиров желательно употреблять умеренно.

7. Достаточное количество жидкости. Вода необходима для нормального функционирования организма, ориентир – 33 мл на килограмм массы тела [4].

КАК ВНЕДРИТЬ ПОЛЕЗНЫЕ ПИЩЕВЫЕ ПРИВЫЧКИ? Изменение питания не обязательно должно происходить резко, гораздо эффективнее двигаться постепенно.

Регулярно принимать пищу. Регулярные приемы пищи позволяют уменьшить вероятность сильного голода и хаотичных перекусов.

Планировать питание. Планирование еды на несколько дней помогает заранее приобрести необходимые продукты.

Брать еду с собой. Домашний контейнер с полноценным обедом или перекусом может быть удобной альтернативой случайному выбору продуктов.

Увеличивать количество овощей и фруктов. Добавление овощей к основному приёму пищи и употребление фруктов в качестве перекуса является простым способом сделать рацион более разнообразным.

Не создавать жёстких запретов. Рациональное питание не требует полного исключения отдельных продуктов.

Изменять привычки постепенно. Можно начать с замены части сладких напитков водой, затем добавить ежедневную порцию овощей и наладить регулярный сбалансированный завтрак.

ВЫВОДЫ. Рациональное питание – важная часть здорового образа жизни. Особенно большое значение оно имеет в подростковом возрасте, когда организм продолжает активно расти и развиваться, а учеба и физическая активность требует значительных затрат энергии.

КБЖУ позволяет оценивать энергетическую и питательную ценность рациона. Белки необходимы для роста и восстановления тканей, жиры участвуют в многочисленных физиологических процессах, а углеводы являются одним из основных источником энергии.

При этом универсальной нормы КБЖУ для всех подростков не существует. Энергетические потребности зависят от возраста, пола, роста, массы тела и физической активности. Поэтому приведённые в работе показатели следует рассматривать исключительно как ориентиры.

Основой рационального питания должны быть разнообразие продуктов, достаточное количество овощей и фруктов, источники белка, в приоритете сложные углеводы, и полезные жиры, достаточное потребление жидкости.

Формирование правильных пищевых привычек не требует резких изменений, гораздо эффективнее постепенно внедрять простые действия: регулярно питаться, планировать рацион, брать еду с собой, увеличивать разнообразие продуктов и не строить питание на жёстких запретах.

Таким образом, рациональное питание – это не временная диета, а система повседневных привычек, которая помогает обеспечивать организм энергией и необходимыми питательными веществами и должно стать важной частью здорового образа жизни каждого студента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирная организация здравоохранения. Healthy diet. – URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet (дата обращения: 17.09.2026).

2. Всемирная организация здравоохранения. Healthy diet – рекомендации по энергетическому балансу, белкам, жирам и углеводам. – URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet (дата обращения: 19.09.2026).

3. Мартинчик А. Н., Питание и здоровье: учебное пособие / А. Н. Мартинчик, А. К. Батурин, А. И. Феоктистова – М.: Медицина. 2023. – 75 с.

4. Тутельян В. А. Здоровое питание: здоровый образ жизни / В.А. Тутельян – М.: ГЭОТАР–Медиа, 2021. – 56 с.

5. Тутельян В. А. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. – URL: https://docs.cntd.ru/document/608629034 (дата обращения: 09.09.2026).

REFERENCES

1. World Health Organization. Healthy diet. – URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet (accessed: 17.09.2026).

2. World Health Organization. Healthy diet – recommendations on energy balance, proteins, fats and carbohydrates. – URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet (accessed: 19.09.2026).

3. Martinchik A. N., Nutrition and Health: a textbook / A. N. Martinchik, A. K. Baturin, A. I. Feoktistova – Moscow: Medicine. 2023. – 75 p.

4. Tutelyan V. A. Healthy Nutrition: a Healthy Lifestyle / V. A. Tutelyan – Moscow: GEOTAR-Media. 2021. – 56 p.

5. Tutelyan V. A. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various population groups in the Russian Federation. – Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2021. – URL: https://docs.cntd.ru/document/608629034 (accessed: 09.09.2026).

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ, ИННОВАЦИИ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ – 2026

Материалы Международной молодежной
научно-практической конференции

Воронеж, 22-23 октября 2026 г.

Ответственный редактор Д.А. Жайворонок

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 13.11.2026. Объем данных 10,1 Мб
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8