ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Забайкальская железная дорога – филиал ОАО «Российские железные дороги»

ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО

Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции

Том 1

Чита
2026

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Забайкальская железная дорога – филиал ОАО «Российские железные дороги»

ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО

Материалы X Всероссийской
(с международным участием)
научно-практической конференции

(г. Чита, 24 сентября 2026 г.)

Том 1

Чита
2026

УДК 378
ББК Ч 48
О 23

Редакционная коллегия:

А.А. Ерёменко (главный редактор),
Д.А. Яковлев (ответственный за выпуск),
Д.А. Картёжников (ответственный секретарь)

О 23 ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО : материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, 24 сентября 2026 г. – Чита : ЗабИЖТ ИрГУПС, 2026. – 424 с.

ISBN 978-5-6056532-0-2

В сборнике представлены статьи X Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО».

УДК 378
ББК Ч 48

ISBN 978-5-6056532-0-2

© Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС), 2026
© Забайкальский институт железнодорожного
транспорта (ЗабИЖТ), 2026
© Авторский коллектив, 2026

Уважаемые коллеги!



Представляем вашему вниманию материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО», которая традиционно проводится на базе Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» и затрагивает основные вопросы повышения эффективности трансфера знаний и технологий между научно-образовательными центрами и производственными подразделениями на железнодорожном транспорте и в других отраслях. Каждый год масштаб и количество участников конференции неуклонно растёт, значительный интерес проявляют зарубежные авторы. Важной отличительной особенностью конференции является активное участие в секциях представителей инженерного и технологического блока Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», а также инновационных и проектно-технологических компаний нашего региона.

В связи с созданием и активным развитием в ЗабИЖТ студенческого бизнес-акселератора, бизнес-инкубатора особый акцент ставится на усилении взаимодействия и рассмотрении заявок от функциональных заказчиков для студенческого бизнес-инкубатора с целью подготовки и дальнейшей реализации совместных инновационных и стартап-проектов с компанией ОАО «РЖД» и другими партнёрами. Это позволит на новый уровень вывести научно-исследовательскую работу студенческих научных обществ и привлечь дополнительное целевое финансирование в эту сферу.

Убеждён, что конференция будет, как всегда, интересной и содержательной для всех участников научных дискуссий на секциях и круглых столов и приведёт к дальнейшему укреплению связей между наукой и производством, а также к сокращению сроков между зарождением и внедрением инновационных решений.

Директор Забайкальского института железнодорожного транспорта (ЗабИЖТ), канд. экон. наук, доцент

А.А. Ерёменко

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ 10

Н. Д. Авсеенко, Н. А. Вертегов, А. М. Алофиренко
Социально опасное инфекционное заболевание – туберкулёз в Забайкалье 10

Д. С. Александров, Н. Г. Липчанская
Современные технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте 16

М. А. Анисимов, М. Е. Макаров, С. Д. Подолинная
Разработка автоматизированной системы контроля и расхода топлива на железнодорожном транспорте 22

Д. Д. Бабаков, О. А. Соловьёва, С. А. Филиппов
Анализ и разработка модели обеспечения кибербезопасности цифровой подстанции 27

Ю. И. Белоголов, А. А. Елизарьева
Вопросы организации работы предузловых станций в условиях дефицита пропускных и провозных мощностей Восточного полигона железных дорог 34

И. С. Будин, О. А. Соловьёва, С. А. Филиппов
Анализ качества работы нейросети на микроконтроллере Arduino Uno 41

Е. М. Бушуев, А. Е. Шохирева
Возможность применения TVS-диодов в качестве 3-й ступени защиты электронных узлов ЖАТ 53

Н. В. Власова
Сравнительный анализ и экономический расчёт технологии транспортировки угля: в полувагонах и в контейнерах типа Open top 57

М. В. Востриков, И. В. Кизима
Совершенствование автоматизированной подсистемы шаблонов аварийных ситуаций в составе микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока 68

А. С. Жигальцова, О. В. Фролова
Развитие тяжеловесного движения. Сдерживающие факторы в пределах Восточного полигона 76

И. С. Зарецкий
Эволюционное развитие систем видеоаналитики
железнодорожного транспорта в условиях ресурсных ограничений..... 82
В. А. Ильиных
Основные пути повышения качества модульного инструмента
многоцелевых станков..... 87
В. А. Ильиных, О. С. Белкина, Е. В. Непомнящих
Расчёт распорных сил в семигранных профильных соединениях..... 92
И. В. Ковригина, Р. С. Большаков
Тенденции развития высшего образования
транспортной направленности..... 98
И. В. Ковригина, Р. С. Большаков
Повышение надёжности тяговых электродвигателей
электровозов 3ЭС5К..... 103
Е. В. Козин
Об инженерных рисках проведения строительства
высокоскоростных железнодорожных магистралей
вблизи существующей застройки..... 113
Е. В. Козин
Особенности проектирования высокоскоростной
железнодорожной магистрали в городской и пригородной среде..... 117
Е. И. Комин, Т. В. Иванова
Средство определения координаты подвижного состава
с помощью технологии одометрии..... 122
В. И. Коннов, М. Н. Дацкая, Е. Е. Вершинина
Намерзание грунта вокруг опоры железнодорожного моста..... 127
В. И. Коннов, В. А. Лемехова, Д. А. Васильченко
Оценка работы теплоизоляционной подушки..... 131
Е. А. Круглова, В. Е. Докучаев
Модернизация электровоза 3ЭС5К
посредством интеграции солнечных панелей..... 135
Н. В. Лапшина
Влияние конечной скорости конвективного теплообмена
на процесс охлаждения воды в трубопроводе с теплоизоляцией..... 145
А. В. Ларченко, В. В. Чивилев
Совершенствование систем очистки пути
с целью повышения сцепления в системе колесо-рельс..... 151

О. Ю. Латышев
Обеспечение потребности в коммуникациях Новой Москвы посредством строительства пятого кольца Московского метрополитена..... 157
В. Ю. Линейцев, К. Ю. Ворончихин, Н. А. Вертегов
Опыт проектирования мостового перехода на участке автомобильной дороги «Дарасун – Солнцево» с использованием типовых решений..... 165
А. А. Максуров
Координация юридического обеспечения безопасности информационных систем национального транспорта..... 172
К. В. Менакер
Условия совмещения параметрического и волнового резонансов в двухпроводной длинной линии..... 179
К. В. Менакер, Д. Е. Салтанова
Применение БПЛА для автоматизации проверки видимости огней железнодорожных светофоров..... 185
В. А. Оленцевич
Обоснованность размещения пунктов коммерческого осмотра и постов коммерческой безопасности на Восточно-Сибирской железной дороге..... 191
П. П. Панков, Д. В. Бесполитов, Н. Д. Шаванов, Н. А. Коновалова
Особенности архитектуры и параметров порового пространства композита на основе техногенного минерального сырья..... 199
И. К. Патароча, А. Д. Зарубин
Сравнительная эффективность вариантов модернизации системы электроснабжения участка Култук – Порт Байкал..... 203
Е. Ю. Пузина
Современные тенденции в характеристиках силовых трансформаторов, рекомендуемых к применению на энергетических объектах..... 211
Д. А. Ростовцева, С. Е. Турчик, Е. А. Андреева
Анализ решений при создании высокоточной координатной системы в рамках проекта ВСМ..... 218
В. В. Степанов, Д. Р. Пляскин
Геометрический критериальный признак схода колёсной пары грузового поезда с рельсов для разработки надежных устройств экстренного включения автотормозов..... 223
И. В. Сударев, А. В. Пультяков
Анализ параметров пневмобаллонов FESTO, применяемых в конструкции вагонных замедлителей..... 230

М. Ф. Шевандо
Повышение эффективности очистки балластной призмы:
анализ высокопроизводительных комплексов
и направления их совершенствования..... 238
РАЗДЕЛ 2. ЦИФРОВАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗКАМИ**.....** 245
А. А. Багдасарян, В. А. Эсаулов
Повышение эффективности организации тяжеловесных поездов
в границах Восточного полигона..... 245
И. А. Горохова
Перспективы развития опорной сети внутренних водных путей
Российской Федерации на примере Багаевского гидроузла..... 249
А. С. Данилова, С. А. Ранюк, Д. А. Триппель
К вопросу об организации логистических процессов
терминально-складского комплекса..... 257
К. М. Джигерханова, Л. Х. Никифорова
Исследование человеческого фактора
в управлении безопасностью полётов..... 261
А. Д. Доможирова
Особенности организации транспортного производства
на примере кольцевых маршрутных перевозок..... 270
Д. В. Дуров
Роль искусственного интеллекта в планировании маршрутов
и управлении перевозочным процессом..... 275
П. В. Евщик, О. В. Мясникова
Интеграция автономных транспортных систем и роботов
в производстве и на складе: проблемы и решения..... 281
В. В. Зубков, П. Е. Раевская, Н. В. Раевский
Создание и применение платформы
для идентификации крупнотоннажных контейнеров
в транспортно-логистическом комплексе..... 290
Н. М. Ковалева, М. Ю. Бойко
Таможенная деятельность в Забайкалье: история и современность..... 296
М. И. Коновалова, С. В. Дружин, Н. Б. Ринчиндоржиев
Сравнительная оценка экономической эффективности
вариантов развития сортировочной инфраструктуры
на участке Белогорск – Сковородино..... 303
А. С. Крылов
Основные выводы по итогам переработки
единого технологического процесса Восточного полигона..... 309

А. С. Крылов
Основы для создания полигонной модели управления
на Северо-Западном и Юго-Западном направлениях
сети ОАО «РЖД»..... 317
А. К. Кузнецова, О. А. Лукашова
Интеграция IoT-технологий в транспортно-логистический сектор:
эффективность и проблемы внедрения.....327
М. А. Марченко
Задача оптимизации мультимодальных перевозок
и подход к её решению на основе нейросетевого анализа.....332
В. А. Оленцевич
Вопросы формирования восточного экспортного контура.....340
Е. С. Павлов, Р. М. Савицкий, Н. М. Матвейчук
Применение моделей теории массового обслуживания
к анализу стратегий поиска пассажиров в системе городского такси.... 346
П. Е. Раевская, Н. Юань
Искусственный интеллект на транспорте: внедрение, безопасность
и международное сотрудничество.....357
С. А. Ранюк, М. Е. Данилова, П. Ю. Брюханова
Адресное хранение как инструмент оптимизации
складской логистики..... 364
Е. Н. Светлакова
Оптимизация плеч обслуживания локомотивов
на Восточном полигоне..... 369
Е. Н. Светлакова, И. М. Павлов
Современные подходы к автоматизации сортировочных горок..... 375
В. В. Тепина, И. Ф. Кравченко
Оценка дополнительных затрат грузовладельца
при простое подвижного состава на этапе таможенного оформления
экспортных грузов..... 381
Д. И. Толстый, П. С. Кузнецов, М. И. Разумовская
Цифровизация маркетинговых коммуникаций
аэропорта Хабаровск (Новый)
на основе комплекса digital-инструментария..... 388
Р. Ю. Упырь, А. В. Дудакова
Цифровизация диспетчерского управления на основе Digital Twin
в условиях перехода на беспилотное движение.....394
А. В. Фалалеев
Интеграция интеллектуальных транспортных систем
в цифровую логистику: управление перевозками нового поколения..... 400

М. Ю. Фомичева, А. В. Лубенцов
Импортозамещение элементов ODS-систем
для развития беспилотных локомотивов..... 406
В. А. Черномаз, И. С. Грозов
Северный морской путь как логистическая артерия:
организация грузоперевозок, инфраструктурные ограничения
и перспективы достижения целевого грузооборота..... 411
В. А. Эсаулов, А. А. Багдасарян
Природа транспортного потока как решающий фактор
реализации пропускной способности железнодорожных линий..... 418

РАЗДЕЛ 1. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ

Авсеенко Н. Д., Вертегов Н. А., Алофиренко А. М.

СОЦИАЛЬНО ОПАСНОЕ ИНФЕКЦИОННОЕ ЗАБОЛЕВАНИЕ – ТУБЕРКУЛЁЗ В ЗАБАЙКАЛЬЕ

В работе представлен материал, касающийся биологической опасности для работников Забайкальской железной дороги как части населения Забайкальского края, в виде острого и хронического туберкулеза, инфекционного заболевания, развивающееся в основном при контакте с больным, страдающим этим заболеванием и передающееся чаще всего посредством дыхания. Существуют разные формы болезни, но ситуация усугубляется тем, что болезнь длительное время протекает скрытно и значительная доля вновь заболевших выявляется только по флюорографии. Работники железной дороги Забайкалья, а именно более 50 профессий железнодорожников подвергаются систематическим медицинским осмотрам и в т. ч. флюорографии. Все выявленные случаи туберкулеза учитываются и активно лечатся с последующим санаторно курортным восстановлением здоровья. Для предупреждения данного заболевания проводится большая просветительская работа органами здравоохранения Забайкальского края и медицинских структур, курирующих работников железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: туберкулез, легочная форма, иммунитет, профилактика, лечение, флюорография, пандемия, заболеваемость, летальность, просветительская работа

Забайкальский край исторически является неблагополучным регионом по туберкулезу. Показатели заболеваемости здесь в 1,5–2 раза выше, чем в среднем по России. Динамика туберкулеза за последние три года такова, что после пандемии COVID-19 медицина столкнулась с резким ухудшением ситуации в связи с тем, многие люди пропустили плановую флюорографию, потому что поликлиники были перегружены, а некоторые и вовсе не обращались за медицинской консультацией (рис. 1).

В результате туберкулез стали выявлять уже на поздних, запущенных стадиях. Показатель заболеваемости оказался около 85–90 случаев на 100 тысяч населения и высокой смертностью (около 15–18 человек

на 100 тысяч населения), заболевшие, как правило, поступали на лечение уже в тяжелом состоянии. К 2023 г. профилактическая система здравоохранения постепенно восстановила плановые осмотры и ситуация немного стабилизировалась. Однако появилась новая, еще более опасная проблема в виде резкого роста лекарственно-устойчивого туберкулеза. Это означает, что стандартные препараты перестают эффективно действовать, а лечение требует дорогих лекарств и занимает гораздо больше времени (до 2 лет вместо стандартных 6–8 месяцев). Кроме этого увеличилось число больных с хроническими формами, которые годами выделяют бактерии и остаются заразными для окружающих. В 2024 г. показатель заболеваемости зафиксирован на уровне 78–82 на 100 тысяч человек (рис. 1). При этом сохраняется высокая пораженность среди социально неблагополучных слоев населения, таких как бездомных людей и лиц, освободившихся из мест лишения свободы. Известно, что в Забайкалье достаточно большое число пересыльных тюрем и колоний, что поддерживает циркуляцию инфекции. Было установлено, что увеличивается число случаев туберкулеза среди подростков. Медики связывают это с последствиями перенесенного COVID-19 (снижение иммунитета) и участившимися случаями отказа родителей от проб Манту.



Рис. 1. Смертность от туберкулеза на территории Забайкалья с 2012 по 2022 гг.

Основным виновником болезни является микобактерия туберкулеза, которую также называют палочкой Коха (в честь ученого Роберта Коха, открывшего её в 1882 г.). Важный момент: у этого возбудителя есть несколько разновидностей.

Весь комплекс микобактерий туберкулеза (Mycobacterium tuberculosis complex, MTBC) включает в себя несколько видов: челове-

ческий вид (Mycobacterium tuberculosis) является самой распространенной. Именно этот штамм чаще всего вызывает туберкулез у людей. Передается от больного человека к здоровому воздушно-капельным путем. Существует бычий вид (Mycobacterium bovis) – поражает крупный рогатый скот, но опасен и для человека. Заражение происходит при употреблении не кипяченого молока от больных коров или при контакте с животными. В ряде стран до сих пор регистрируются случаи зоонозного (передающегося от животных) туберкулеза. А также существуют и другие виды – M. africanum (распространен в Африке), M. caprae (поражает коз и овец, но может передаваться человеку), M. microti (обычно поражает полевок, но описаны случаи заболевания людей). Известно, что микобактерия чрезвычайно живуча: в темноте, в пыли, на страницах книг она сохраняет свою активность в течение многих месяцев.

Однако, хорошо известно, что контакт с пациентом, имеющим в организме палочку Коха, не всегда приводит к заболеванию. Важное место занимает роль иммунитета у человека. Основными факторами риска заражения туберкулезом являются такие как: снижение иммунитета, т. е. любое состояние, которое ослабляет иммунную систему и делает человека уязвимым. К ним относится ВИЧ-инфекция и сахарный диабет, а также длительный прием гормональных препаратов, хронический стресс, переутомление, недосыпание, а кроме того имеет значение в каких социальных условиях находится человек. Низкие экономические показатели способствуют возникновению и тяжелому течению болезни и поэтому туберкулез часто называют "болезнью бедных". В результате человек получает плохое, не полноценное питание (дефицит белка, витаминов), проживает в сырых, холодных помещениях, а также в условиях скученности или находится большую часть времени в плохо проветриваемом помещении. Экологические условия оказывают негативное влияние и могут облегчить задачу для палочки Коха, например загрязнение воздуха, работа на вредных производствах, таких как работа в шахте, на заводе, где легкие постоянно подвергаются воздействию пыли и токсинов поэтому поврежденная легочная ткань является легкой мишенью для микобактерий. Опасны и вредные привычки, такие как курение, алкоголизм, наркомания, которые резко снижают сопротивляемость организма к туберкулезу. Курение парализует реснички в бронхах, которые в норме выталкивают мокроту с бактериями. Алкоголь разрушает печень, участвующую в метаболизме ненужных веществ организма, угнетающих иммунитет. Все выше перечисленное способствует крайне коварному заболеванию туберкулез.

При туберкулезе наблюдаются, как правило, такие признаки как:

Длительный кашель. Более 2–3 недель (сначала сухой, затем влажный с мокротой). Кровохарканье. Выделение крови с мокротой (от прожилок до легочного кровотечения) – грозный признак, требующий немедленной медицинской помощи. Боль в груди. Усиливающаяся при дыхании, кашле или глубоком вдохе. Может быть одышка. Чувство нехватки воздуха, усиливающееся при физической нагрузке. Стойкое повышение температуры. Чаще субфебрильная (37,1–37,9 °С), держится неделями, без признаков ОРВИ. Ночная потливость. Обильное потоотделение по ночам, особенно в области шеи и груди. Резкое снижение веса. Потеря аппетита, потеря 10–15 % массы тела за короткий срок. Постоянная слабость и утомляемость. Чувство разбитости с утра, снижение работоспособности. Увеличение лимфатических узлов. Чаще шейных, подмышечных (безболезненные, плотные).

Нам удалось выяснить, что около 65–70 % впервые выявленных больных успешно завершают курс лечения и считаются излеченными. Однако при лекарственно-устойчивом туберкулезе процент излечения значительно ниже – около 50–55 %. Существуют и летальные исходы, так показатель смертности от туберкулеза в Забайкальском крае в 2025 г. составил ориентировочно 12–14 случаев на 100 тысяч населения. В абсолютных цифрах это десятки жизней, которые можно было бы спасти при более раннем выявлении. А кроме того возможен переход в хроническую форму. Так по статистике около 15–20 % больных становятся хроническими – они годами живут с туберкулезом, периодически выделяя бактерии. Эти пациенты – постоянный источник инфекции для окружающих. Туберкулез может привести к инвалидизации, т. е. значительная часть переболевших (до 30 %) получают инвалидность из-за необратимых изменений в легких: таких как фиброз, цирроз печени, дыхательная недостаточность. К тенденциям 2025 г. относится высокий процент запущенных случаев, когда люди обращаются к врачу слишком поздно.

Лечение больных туберкулезом осуществляется в соответствии с положениями утвержденных Федеральных клинических рекомендаций и краевых стандартов оказания фтизиатрической помощи населению. Контролируемая химиотерапия больных туберкулезом организована на стационарном и амбулаторном этапах. На амбулаторном этапе контроль лечения не всегда проводится должным образом из-за отсутствия необходимого количества подготовленных специалистов, отдаленности населенных пунктов, отсутствия социальной поддержки больных туберкулезом в виде обеспечения бесплатного проезда на общественном транспорте к месту лечения, асоциального поведения значительной части больных. В регионе проводится работа по привлечению районных

и сельских медицинских работников ОЛС для контроля лечения больных туберкулезом на амбулаторном этапе. В ряде случаев отмечаются перерывы в лечении на различный срок. Меры по поиску больных и привлечению их к лечению принимаются. Реализован проект «Координаторы здоровья», с целью усиления приверженности к лечению на амбулаторном этапе больных с МЛУ/ШЛУ возбудителя. Используются телемедицинские технологии, технологии дистанционного контроля приема ПТП. Средняя продолжительность интенсивной фазы лечения больных туберкулезом в стационаре Забайкальского края составляет 90 дней.

Профилактика туберкулеза регулируется целым комплексом законов и нормативных актов. Так Федеральный закон № 77-ФЗ «О предупреждении распространения туберкулеза в Российской Федерации» определяет права и обязанности больных и врачей. Самым важным пунктом закона является принудительная госпитализация заразных больных, которые отказываются от лечения (рис. 2). Это жесткая, но необходимая мера, чтобы больной не заражал свою семью, соседей, случайных людей в транспорте.



Рис. 2. Показана заболеваемость по краю в сравнении с показателями по РФ

Следующим документом является Постановление Правительства РФ (Программа госгарантий на 2025–2027 гг.). Этот документ гарантирует, что лечение туберкулеза, включая самые дорогие препараты, полностью бесплатно для пациента. Государство берет на себя все расходы: лекарства, стационар, питание, больничные листы на весь срок лечения (который может длиться больше года). Кроме этого существуют Приказы Минздрава РФ, которые являются инструкциями для врачей: как лечить, какие схемы применять, в каких дозах, в какой последовательности. Самый важный это приказ, утверждающий стандарты оказания помощи

по профилю «фтизиатрия». А также существует Постановление Правительства Забайкальского края № 709 от 28.12.2024, «региональная версия» программы госгарантий. В нем прописано конкретно для нашего края: сколько коек в противотуберкулезном диспансере работает, сколько денег выделено на бесплатное питание больных, как организована маршрутизация пациентов из отдаленных районов. Приказ Минздрава Забайкальского края от 10.03.2026 № 6-П является действующим документом и регламентирует, куда именно направлять больного из каждого района края, кто отвечает за его транспортировку, кто и как часто сдает отчеты. К мерам по борьбе с туберкулезом являются следующие:

Прививка БЦЖ (BCG) – это вакцина, название которой расшифровывается как Bacillus Calmette-Guérin (бацилла Кальметта-Герена). Она была создана еще в 1921 г. французскими учеными Альбером Кальметтом и Камилем Гереном и используется во всем мире до сих пор. Очень важен для профилактики туберкулеза здоровый образ жизни и соблюдение личной гигиены то, что делает организм устойчивым к инфекции. На Забайкальской железной дороге должное внимание уделяется обязательным медицинским осмотрам с флюорографией, как самый надежный способ выявить туберкулез на ранней стадии, когда он еще никак не проявляет себя. А также для оздоровления персонала обязательны ежегодные отпуска, предоставление льготных путевок к местам отдыха и проводится большая просветительская работа по организации здорового образа жизни, работает бассейн и базы отдыха.

Библиографический список

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 4 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 3.3686-21 Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней». – Текст : непосредственный.

2. Федеральный закон от 18 июня 2001 г. № 77-ФЗ «О предупреждении распространения туберкулеза в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001. – № 26. – Ст. 2581. – Текст : непосредственный.

3. Перельман, М. И. Фтизиатрия : учебник / М. И. Перельман, И. В. Богадельникова. – Издание 4-е, переработанное и дополненное. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 448 с. – Текст : непосредственный.

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2024 г. № 1940 «О Программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на 2025 год и на плано-

вый период 2026 и 2027 годов» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2025. – № 1. – Ст. 15. – Текст : непосредственный.

3. Постановление Правительства Забайкальского края от 28 декабря 2024 г. № 709 «Об утверждении Территориальной программы государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи на территории Забайкальского края на 2025 год и на плановый период 2026 и 2027 годов» // Официальный интернет-портал правовой информации Забайкальского края. – URL : https://www.право.забайкальскийкрай.рф. – Текст : электронный.

6. Приказ Министерства здравоохранения Забайкальского края от 10 марта 2026 г. № 6-П «О внесении изменений в приказ Министерства здравоохранения Забайкальского края от 23 ноября 2021 г. № 18-П» (документ не опубликован). – Текст : непосредственный.

7. Влияние социально-экономических и экологических факторов на эпидемиологическую ситуацию по туберкулезу в Забайкальском крае / Д. Н. Зайцев [и др.] // ЧГМА. – Чита, 2021. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Авсеенко Надежда Дмитриевна, д-р мед. наук, профессор кафедры «Общенаучные дисциплины», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия;

Вертегов Никита Алексеевич, студент группы СЖД-2.22 очного факультета, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия;

Алофиренко Алина Максимовна, студент группы Э.2.23 очного факультета, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Россия.

Александров Д. С., Липчанская Н. Г.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В статье рассмотрены ключевые технологические решения, их возможности, ограничения и практические рекомендации по внедрению в условиях российских железных дорог. Современные технологии обеспечивают многоуровневую систему предотвращения инцидентов: от автоматических систем управления поездом до предиктивной диагностики инфраструктуры и киберзащиты.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, технологии, безопасность движения.

Железнодорожный транспорт – критически важная отрасль экономики и инфраструктуры, предъявляющая высокие требования к безопасности движения, перевозки грузов и охране пассажиров.

Железнодорожный транспорт остаётся одним из наиболее энергоэффективных и надёжных видов перевозок, однако рост интенсивности движения, усложнение маршрутных схем и увеличение объёмов перевозки опасных грузов предъявляют повышенные требования к безопасности. Традиционные технические средства – релейная автоматика, местная сигнализация и регламентное обслуживание – остаются основой, но уже не обеспечивают в полной мере необходимый уровень превенции и оперативного реагирования. Цифровизация отрасли, развитие телекоммуникаций и аналитики открывают новые возможности: не только фиксировать отклонения от нормы, но и прогнозировать отказ оборудования, автоматизировать реакцию на опасные события и минимизировать влияние человеческого фактора. В данной статье последовательно анализируются ключевые технологические направления, их практическая значимость и ограничения при применении в условиях российской инфраструктуры.

Интеллектуальное видеонаблюдение и машинное зрение. Классические системы видеонаблюдения постепенно превращаются в интеллектуальные аналитические комплексы. Нейросетевые алгоритмы обеспечивают автоматическую детекцию людей на путях, распознавание подозрительных объектов, определение дефектов на элементах пути и контроль доступа на охраняемые территории (рис. 1). Важной областью применения является превентивное выявление препятствий и прогнозирование ситуаций, способных вызвать столкновения или срывы. Интеграция видеопотоков с системами управления движением и службами реагирования ускоряет принятие решений и уменьшает время отклика. Одновременно с повышением возможностей аналитики возникают вопросы обеспечения конфиденциальности, корректности распознавания в сложных погодных условиях и ложных срабатываний – эти аспекты требуют тщательной настройки моделей и периодической валидации на реальных данных [1, с. 480].

Беспилотные и робототехнические средства инспекции. Использование беспилотных летательных аппаратов и наземных роботов для инспекций позволяет быстро и безопасно обследовать мосты, туннели, контактную сеть и протяжённые участки пути. Дроны с визуальными

и тепловизионными камерами эффективны при оценке состояния контактной сети и при поставарийных осмотрах (рис. 2); мобильные наземные платформы оснащаются дефектоскопами для неразрушающего контроля рельсов.

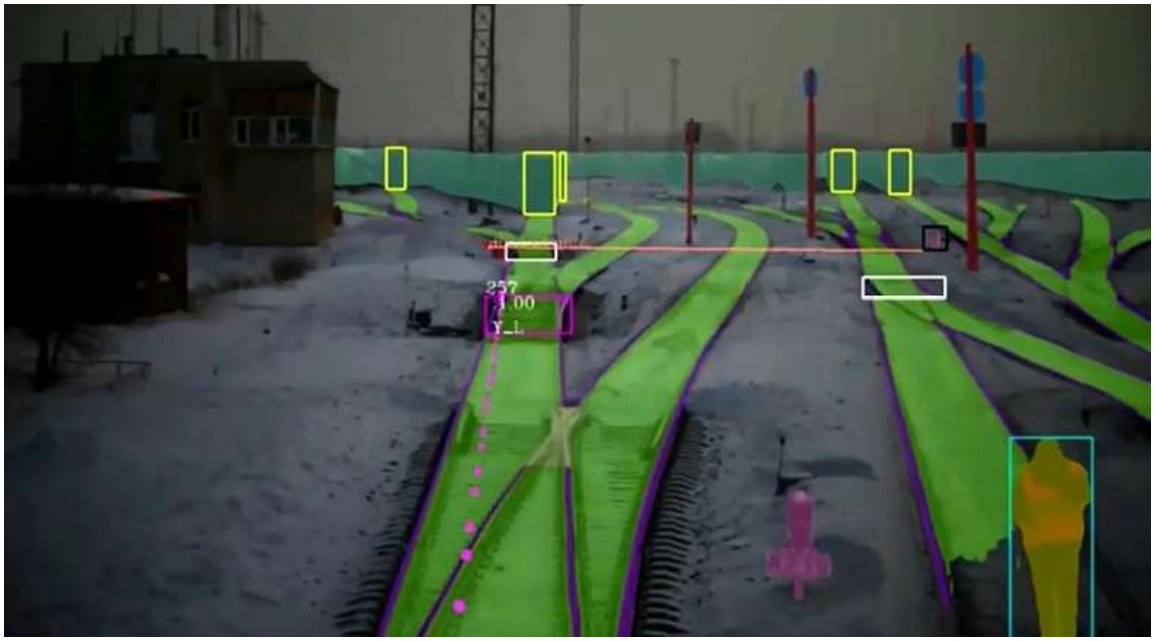


Рис. 1. Обнаружение объектов железнодорожного пути с помощью системы Cognitive Rail Pilot



Рис. 2. Беспилотник проводит аэрофотосъемку железнодорожного пути

Технологии сокращают время обследований и снижают риск для персонала, но их внедрение связано с необходимостью решения регуляторных вопросов (полёты в зоне инфраструктуры, обеспечение связи и ЗСО), а также с ограничениями, накладываемыми погодой и окружением. Практическая польза от беспилотных систем максимальна при их интеграции в единый процесс диагностирования и обслуживания, когда результаты пилотных осмотров оперативно передаются в аналитическую платформу и становятся основанием для принятия решений [2].

Мониторинг состояния путей и неразрушающий контроль. Ранняя идентификация дефектов рельсового пути – один из ключевых факторов предотвращения сходов и крупных аварий. Современные методы неразрушающего контроля, включая ультразвуковую дефектоскопию, акустическую эмиссию и магнитопорошковый контроль, в комбинации с мобильными детекторами на подвижном составе, обеспечивают более точную и частую оценку состояния рельсов. Дополнение стационарными сенсорами и аналитикой трендов позволяет прогнозировать образование критических трещин и планировать локальные ремонты до достижения опасных пределов. Успех таких систем зависит от последовательности сбора и нормализации данных, стандартизации подходов к интерпретации и гибкости в принятии решений на уровне эксплуатационных служб.



Рис. 3. Беспилотник Staaker BG-300 для обследования железнодорожных путей

Созданный в Nordic Unmanned беспилотник Staaker BG-300 (рис. 3) способен оперативно обследовать железнодорожное полотно незадолго до прохода поезда, тогда как обходчикам для этого требуется больше времени. Дрон оснащен топливным элементом и четырьмя колесами, при помощи которых он может ехать по железной дороге со средней

скоростью около 20 километров в час. Запас хода дрона составляет до 200 километров. Для оценки состояния путей Staaker BG-300 использует камеры и различные датчики, передавая данные оператору. Также аппарат может смазывать стрелки, если это необходимо. Дрон в автономном режиме взлетает с железнодорожного полотна, чтобы переместиться на соседний путь или пропустить приближающийся поезд [3].

Человеческий фактор и обучение. Технологии изменяют профиль рабочих задач: алгоритмы автоматизируют рутинные операции, но при этом требуют от персонала новых навыков – интерпретации данных, управления автоматическими системами и принятия решений в изменчивой обстановке.



Рис. 4. Обучение машиниста на тренажёре

Современные тренажёры, симуляторы и решения с применением виртуальной и дополненной реальности обеспечивают безопасную среду для отработки сложных сценариев и ЧС (рис. 4). Обучение должно сочетать техническую подготовку с развитием коммуникативных навыков и стрессоустойчивости, поскольку в критических ситуациях человеческий фактор остаётся важнейшим элементом системы безопасности. Инвестиции в подготовку персонала окупаются снижением ошибок и ускорением процессов принятия решений.

Уровень безопасности движения всегда был и остается основной заботой железнодорожников. Разработка новых технических устройств, организация перевозочного процесса, технология производства, диагностика элементов всей железнодорожной отрасли оцениваются в первую очередь с позиции безопасности. На безопасность движения влияют как эксплуатационно-технологические аспекты работы железнодорожного транспорта, так и уровень решения проблем безопасности на этапе проектирования всех структурных элементов, формирующих транспортную систему [4, с. 441].

Широкая цифрозация страны и железнодорожного транспорта существенно влияет на технологию транспортных процессов, исключая или сокращая влияние человеческого фактора на технологический процесс и уровень его безопасности.

Библиографический список

1. Сычугов, А. Н. Применение нейронных сетей для распознавания объектов на железнодорожном транспорте / А. Н. Сычугов, В. Н. Михейчиков, М. В. Чернышов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2023. – Т. 20. – Вып. 2. – С. 478–491. – DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-478. – Текст : непосредственный.

2. Беспилотники захватывают РЖД. – URL : https://rzddigital.ru/authors/rzhd-tsifrovoy/ (дата обращения 14.02.2026). – Текст : электронный.

3. В Норвегии создан дрон для инспекции железнодорожных путей. – URL : https://www.vokrugsveta.ru/ (дата обращения 15.02.2026). – Текст : электронный.

4. Малыгин, Е. А. Технические средства и технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте : учебное пособие / Е. А. Малыгин. – Екатеринбург : УрГУПС, 2021. – 448 с. – ISBN 978-5-94614-496-4. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Александров Данила Сергеевич, студент 3 курса отделения «Организация перевозок и управление на транспорте (по видам)», Саратовский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения», г. Саратов, Россия, danil_alexsandrov2007@mail.ru;

Липчанская Наталья Геннадьевна, преподаватель высшей квалификационной категории отделения «Организация перевозок и управление на транспорте (по видам)», Саратовский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Приволжский государственный университет путей сообщения», г. Саратов, Россия, Lipchanskaya61@mail.ru.

Анисимов М. А., Макаров М. Е., Подолинная С. Д.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И РАСХОДА ТОПЛИВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Статья посвящена проблеме хищения топлива на железнодорожном транспорте и обоснованию применения автоматизированной системы мониторинга. Целью работы является провести анализ существующих методов контроля расхода топлива и разработать устройство, обеспечивающее фиксацию несанкционированного слива топлива в режиме реального времени. Рассмотрены недостатки существующих систем несанкционированного слива топлива, предложена архитектура устройства мониторинга, обоснованы технические требования системы. В заключении сформированы выводы об экономической эффективности использования разработанной системы. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем защиты топливных баков тепловозов.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, хищение топлива, устройство мониторинга, системный анализ, техническое средство, автоматизированная система, структурная схема.

Систематическое хищение дизельного топлива на железнодорожном транспорте приводит к значительным финансовым потерям. Согласно данным судебной практики и отраслевой отчётности, ежемесячные недостачи составляют 10–20 % от закупленного объёма (рис. 1) [1]. Руководство признает наличие данной проблемы, однако испытывает трудности в решение данной проблемы, поскольку факт хищения происходит преимущественно в ночное время, в удаленных или безлюдных местах стоянки. Это создает дополнительные сложности оперативного обнаружения, выявления и предотвращения несанкционированного слива топлива [2–5]. На сегодняшний день основной проблемой является

отсутствие оперативного контроля расхода топлива и невозможность фиксации факта несанкционированного слива. Для решения данной проблемы предлагается разработать и внедрить комплекс мер, направленных на повышение точности контроля за использованием топлива. Он может включать в себя современные устройства мониторинга и учета топлива, а также улучшение системы внутреннего контроля и аудита.

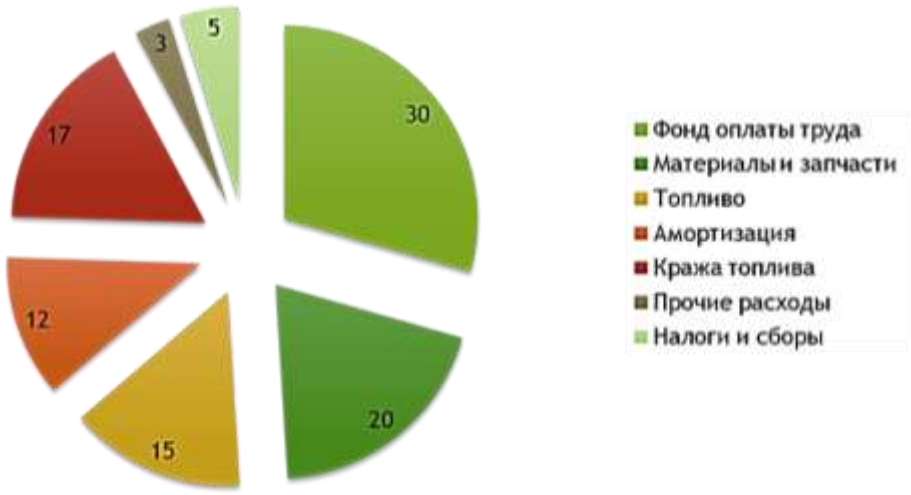


Рис. 1. Анализ расходов предприятия

Существует три основных метода контроля уровня топлива, которые включают незапланированные проверки уровня топлива посредством мерной линейки, механическую пломбировку крышек топливных баков и анализ путевых листов с учетом нормативного расхода топлива. Каждый из перечисленных методов имеют недостатки. Проверки уровня топлива не могут проводиться на постоянной основе, пломбировочные устройства могут подвергаться несанкционированному воздействию, а используемые датчики уровня топлива обладают высоким уровнем погрешности и чувствительностью к факторам внешней среды. Кроме того, информация о факте хищения поступает с задержкой до одного месяца, что ограничивает возможность оперативного реагирования.

В результате проведенного опроса среди руководителей депо, выявлено, что 9 из 10 респондентов идентифицировали проблему несанкционированного хищения топлива как наиболее значимую. Анализ судебной практики подтверждает масштабность данной проблемы. Ежегодно рассматриваются сотни исковых заявлений о возмещении ущерба в результате несанкционированных действий. Конструктивные особенности тепловозов моделей 2ТЭ116 и ТЭМ18 не предусматривают механизмов предотвращения несанкционированных сливов. Широкие горловины топ-

ливных баков и штатные датчики создают благоприятные условия для хищения. Именно поэтому предлагаемая в статье система необходима для обеспечения безопасности и сохранения топливных ресурсов.

Целевой группой для внедрения разрабатываемой системы являются руководители эксплуатационных депо, главные инженеры и директора по эксплуатации транспортных предприятий, эксплуатирующих парк тепловозов. Ключевыми требованиями к системе со стороны указанной группы являются надёжность оборудования, простота интеграции с существующими системами учёта, наличие юридически значимой доказательной базы (видеозаписи, логи), а также срок окупаемости не более 3-4 месяцев.



Рис. 2. Схема устройства

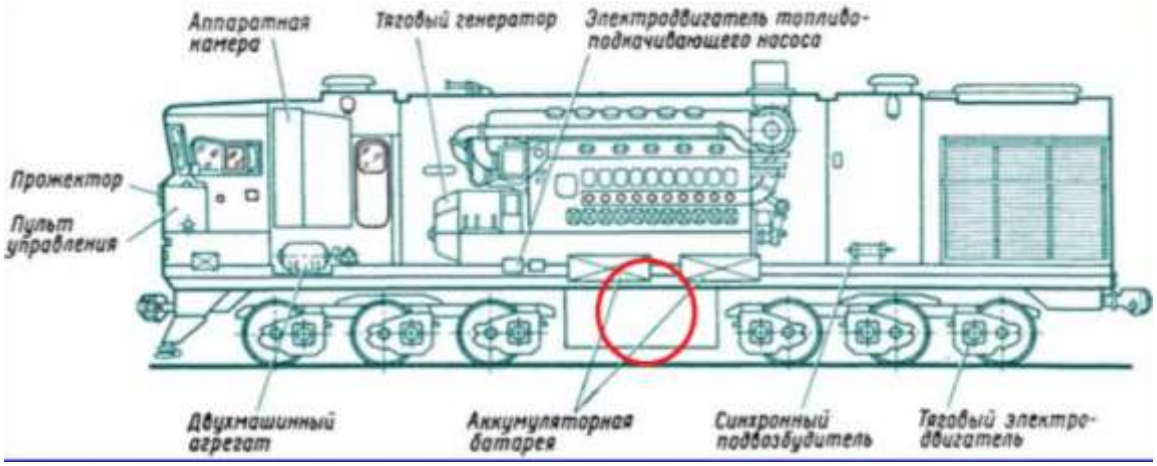


Рис. 3. Место размещения устройства на тепловозе

Для решения описанной проблемы предлагается разработать автоматизированную систему контроля и мониторинга уровня топлива, которая основана на применении высокоточных датчиков уровня с погрешностью 1 % и обладают высокой устойчивостью к вибрационным и угловым нагрузкам. Герконовые сенсоры фиксируют каждый факт открытия крышки топливного бака, минимизируя риск несанкционированного доступа. Интеграция IP-камер, направленных на горловины топливных баков, обеспечит видеофиксацию в режиме реального времени при попытке несанкционированного слива. Все данные, включая уровень топлива, факты вскрытия, видеоматериалы и географические координаты, передаются через спутниковые системы ГНСС в режиме реального времени на диспетчерский пульт и мобильное устройство. Программное обеспечение системы оснащено алгоритмами автоматического обнаружения аномалий, таких как резкое снижение уровня топлива на стоянке, что способствует оперативному реагированию на подобные инциденты. Схема разрабатываемого устройства и место его размещения представлены на рис. 2-3.

Методологической базой исследования послужили работы по оценке эффективности транспортной инфраструктуры [6] и критериям функционирования её объектов [7, 8]. В отличие от перечисленных подходов, ориентированных на стационарные терминально-логистические объекты, в настоящей работе рассматривается подвижной состав (тепловозы) и специфика контроля расхода топлива в условиях эксплуатации.

В результате проведённого исследования выявлено, что хищение дизельного топлива на железнодорожном транспорте остаётся одной из наиболее острых проблем эксплуатационной деятельности, приводя к прямым экономическим потерям в размере 10–20 % от закупочного объёма. Существующие методы контроля не обеспечивают оперативного выявления фактов хищений и формирования доказательной базы. Предложена архитектура автоматизированной системы мониторинга топлива, включающаявысокоточный цифровой датчик уровня, герконовый датчик открытия крышки топливного бака, IP-камеру с инфракрасной подсветкой для видеозаписи, контроллер сбора и первичной обработки данных, модуль передачи информации через спутниковые системы GPS/ГЛОНАСС в реальном времени. Расчётный срок окупаемости системы составляет 2–4 месяца при снижении потерь топлива на 10–20 %. Юридическая значимость собранных данных позволяет использовать их в судебных разбирательствах и дисциплинарных производствах. К перспективным направлениям развития можно отнести интеграцию системы с существующими информационными платформами перевоз-

чика, применение методов машинного обучения для прогнозирования рисков хищений на основе анализа маршрута, времени стоянки и поведения персонала; масштабирование предложенных решений на другие виды подвижного состава (электровозы, путевая техника). Предложенные в статье технические решения могут быть использованы при проектировании систем защиты топливных баков тепловозов и модернизации парка подвижного состава

Библиографический список

1. Приговор Дновского районного суда Псковской области от 15 февраля 2026 г. по делу № 1-45/2026. – URL : https://dnovsky-psk.sudrf.ru/modules.php?name=press_dep&op=1&did=48 (дата обращения: 23.05.2026). – Текст : электронный.

2. Экс-сотрудник брянского РЖД должен вернуть 250 тысяч за украденное топливо // БрянскToday. – 2025. – 15 октября. – URL : https://bryansktoday.ru/article/252711 (дата обращения: 26.04.2026). – Текст : электронный.

3. Приговор Мантуровского районного суда Костромской области от 20 ноября 2025 г. по делу № 1-67/2025 (покушение на хищение топлива). – URL : https://manturovsky-kst.sudrf.ru/modules.php?name=press_dep&op=2&did=32 (дата обращения: 15.05.2026). – Текст : электронный.

4. Официальная отчётность РЖД по МСФО за 2025 год // Финмаркет. – 2026. – 25 марта. – URL : https://www.finmarket.ru/news/6587189 (дата обращения: 21.05.2026). – Текст : электронный.

5. РЖД: титан с долгом в 3 трлн: аналитический обзор / Т-Банк // T-Investments. – 2026. – 15 апреля. – URL : https://www.tbank.ru/invest/social/profile/Anton_DivBonds/de081ca8-dcba-4d19-a353-01f6a21c6bfb/ (дата обращения: 15.04.2026). – Текст : электронный.

6. Подолинная, С. Д. Технико-экономические аспекты развития трансграничной инфраструктуры / С. Д. Подолинная // Актуальные проблемы транспорта в XXI веке : труды IV Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 26–27 марта 2025 года. – Новокузнецк : Сибирский государственный индустриальный университет, 2025. – С. 143–147. – EDN LVMDEV. – Текст : непосредственный.

7. Акельев, А. С. Критерии оценки уровня развития терминально-логистических объектов железнодорожного транспорта / А. С. Акельев, Р. Г. Король // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2(74). – С. 24–31. – DOI 10.52170/1815-9265_2025_74_24. – EDN POJJXB. – Текст : непосредственный.

8. Акельев, А. С. Оптимизация параметров функционирования терминально-логистической инфраструктуры железнодорожной транспортной системы / А. С. Акельев, Р. Г. Король // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3(95). – С. 79–89. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_3_79. – EDN PXKQUX. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Анисимов Матвей Александрович, студент группы СО221ОПМ Института транспортных и энергетических систем ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Россия, matvei.anisimov2017@yandex.ru;

Макаров Макар Евгеньевич, студент группы СО221ОПМ Института транспортных и энергетических систем ФГБОУ ВО Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Россия, makar2006.hellov@mail.ru;

Подолинная София Дмитриевна – старший преподаватель кафедры «Управление процессами перевозок» Института транспортных и энергетических систем, «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровский край, г. Хабаровск, Россия, Umu01@festu.khv.ru.

Бабаков Д. Д., Соловьёва О. А., Филиппов С. А.

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Растущая цифровизация электрических подстанций, обеспечиваемая архитектурами на основе IEC 61850, повысила эффективность эксплуатации, одновременно увеличив опасность кибератак. В статье представлена модель обеспечения кибербезопасности соответствующая стандартам, разработанная для цифровых подстанций и сопоставленная с репрезентативными сценариями кибератак. Модель интегрирует профилактические, обнаруживающие и прикладные меры контроля, основанные на стандартах NIST SP 800-82r3, IEC 62443 и ISO/IEC 27019, и проверена в лабораторной среде технологической шины. Базисная оценка рисков выявила четыре сценария высокого риска в исследуемой архитектуре цифровой подстанции. Для проверки выбранный набор мер контроля был экспериментально оценен на двух

ключевых направлениях: внедрение ложных данных в сообщения Generic Object-Oriented Substation Event (Типовое объектно-ориентированное событие на подстанции) (GOOSE) и отказ в обслуживании против синхронизации Precision Time Protocol (Протокол точного времени) (PTP) [1].

Ключевые слова: цифровые подстанции; IEC 61850; оценка рисков; кибербезопаснось; киберриски; защита критической инфраструктуры, Smart Grid технологии.

Происходящая цифровизация электрических подстанций позволяет повысить эффективность работы, мониторинга и автоматизации современных энергосистем и электроустановок [2]. Эти трансформации также приводят к увеличению опасности различных кибератак, из-за распространения информационных и операционных технологий. Критическая инфраструктура становится в большинстве случаев все более уязвимой для сложных киберугроз.

Согласно отчёту Det Norske Veritas (DNV) за 2025 год, более 56 % специалистов энергетического сектора выяснили, что за последние годы появлялся как минимум с одним значительным инцидентом в области кибербезопасности. По результату отчета появилась необходимость внедрения надежных и современных мер кибербезопасности в инфраструктуре электроэнергетики, в т. ч. в цифровых электрических подстанциях.

Цифровые подстанции, сделанные на стандарте ICE 61850 в большой степени зависят от протоколов связи в реальном времени (GOOSE и PTP). Эти протоколы обеспечивают своевременную передачу сигналов срабатывания и синхронизацию, что необходимо для безопасной и правильной работы систем защиты.

Нарастающая опасность киберугроз требует не только изолированных технических средств контроля, но и структурированного и всестороннего подхода к управлению киберрисками. С этим на высоком уровне справляются международные стандарты NIST SP 800-30, IEC 62443 и IEC 62351, которые обеспечивают необходимый фундамент для разработки надежных и устойчивых возможностей многоуровневой защиты.

Данная статья посвящена вопросу разработки и анализа модели кибербезопасности, основанной на международных стандартах и системах контроля, способность эффективного снижения рисков кибератак в энергетических системах? Для этого был проведен структурированный анализ рисков выявления ключевых возможных киберугроз. Как результат разработана масштабируемая и адаптируемая модель кибербезопасности для цифровых подстанций на основе международных стандартов и действующей нормативно-технической документации (НТД).

При разработке модели также учитывались практические ограничения экспериментальной реализации на испытательном стенде с технологической шиной. Поэтому, хотя и полная модель включает в себя контрольные меры, применимые к нескольким поверхностям атаки, для экспериментальной проверки было выбрано только репрезентативное подмножество в соответствии с двумя критериями: прямая применимость к имеющейся лабораторной инфраструктуре и соответствие к выбранным сценарием атак.

Такая структура позволила предполагаемой модели сохранить согласованность с оценкой риска вероятности воздействия, обеспечивая при этом возможность связи каждого реализованного элемента управления с конкретной целью снижения рисков в рамках системы связи подстанции.

Для проверки модели была сконфигурирована лабораторная система DES с использованием устройств от ABB, GE, ATOP и Meinberg. Архитектура включает объединенную сеть устройств IEC 61850 без сегментации (рис. 1), представляет собой базовую топологию связи, реализованную в среде технологической шины, состоящую из трех Intelligent Electronic Device (интеллектуальное электронное устройство) (IED), двух Merging Unit (объединительный блок) (MU), системы синхронизации времени (Sync), модуля оперативного анализа (Analyzer), коммутатора (SW) и внешнего узла злоумышленника (Attack Generator), используемого для выполнения тестовых сценариев.

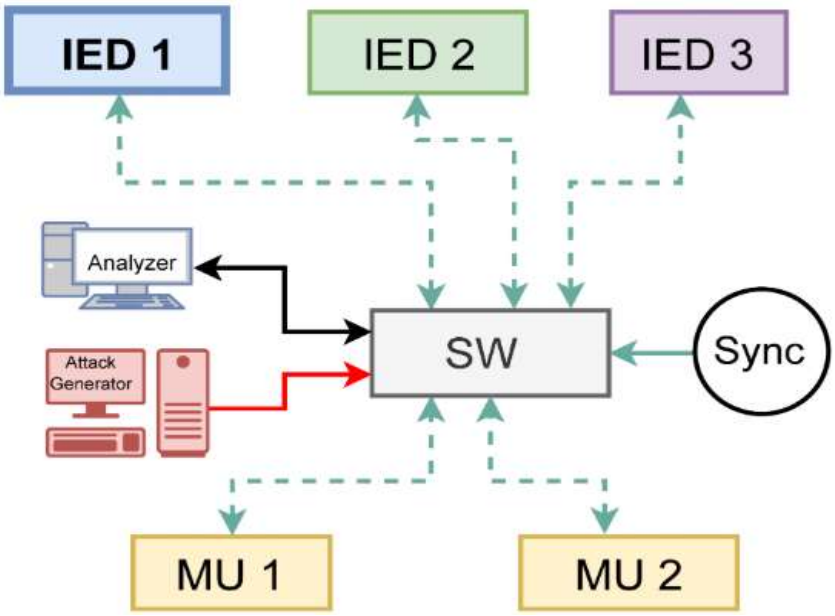


Рис. 1. Архитектура испытательного стенда для экспериментальной проверки.

В данной архитектуре элемент IED1 выступает в качестве основного устройства защиты и посылает сообщения GOOSE, в которых содержатся необходимые команды отключения и информацию о состоянии. Из-за функциональной зависимости, присущей схеме защиты, элементы IED2 и IED3 связаны с сообщения GOOSE, отправляемые IED1, что позволяет им выполнять резервные действия или дополнительные функции на основе полученных сигналов. Это взаимодействие выполняет основную роль в подтверждении атаки, поскольку злоумышленник внедряет поддельные сообщения GOOSE, имитирующие IED1, чтобы ввести в заблуждение IED2 и IED3 и вызвать неверные операции.

Результаты выявили, что применение предложенных мер кратно снизили влияние как FDI-атак, так и DoS-атак, повысило устойчивость, надежность и сократило время простоя. Эти результаты подтверждают практичность и актуальность предложенной модели кибербезопасности в репрезентативной лабораторной среде цифровых подстанций с участием нескольких производителей.

На рис. 2 представлена блок-схема предлагаемой модели управления кибербезопасностью для систем хранения данных. Модель состоит из пяти непрерывных и повторяющихся этапов.

Применение предложенной модели кибербезопасности значительно повысило устойчивость систем дистанционного управления к смоделированным кибератакам. Были проанализированы два основных сценария: атака с использованием FDI на сообщения GOOSE и DoS-атака, влияющая на синхронизацию времени. На рис. 3 показан мониторинг системы связи во время испытаний. Здесь исходная система настроена таким образом, что IED2 и IED3 реагируют на изменение статуса, передаваемого с помощью сообщений GOOSE от IED1. Затем, когда проводится атака FDI, вышеупомянутые IED, подписанные на IED1, меняют свой статус в присутствии атакующего, хотя базовый IED в этот момент не меняет своего статуса.

На рис. 4 показаны результаты тестов с атаками FDI, демонстрирующие, что IED2 и IED3 адекватно реагируют на сигналы, передаваемые от IED1, но не подвержены атакам. Это показывает, что предложенные меры безопасности весьма эффективно снижают риски, связанные с этим типом атак в предложенном тестовом сценарии.

На рис. 5 показана DoS-атака, реализованная путем пересылки пакетов в сеть синхронизации PTP, приводящая к потере согласованности времени между устройствами, что ухудшает корреляцию событий и провоцирует лавину ложных срабатываний. Источник синхронизации работает непрерывно, как и требуется для такого типа инфраструктуры.

Изначально модули в системе были синхронизированы с этим источником. Однако в ходе тестирования было выявлено три DoS-атаки, которые привели к потере синхронизации модулей.

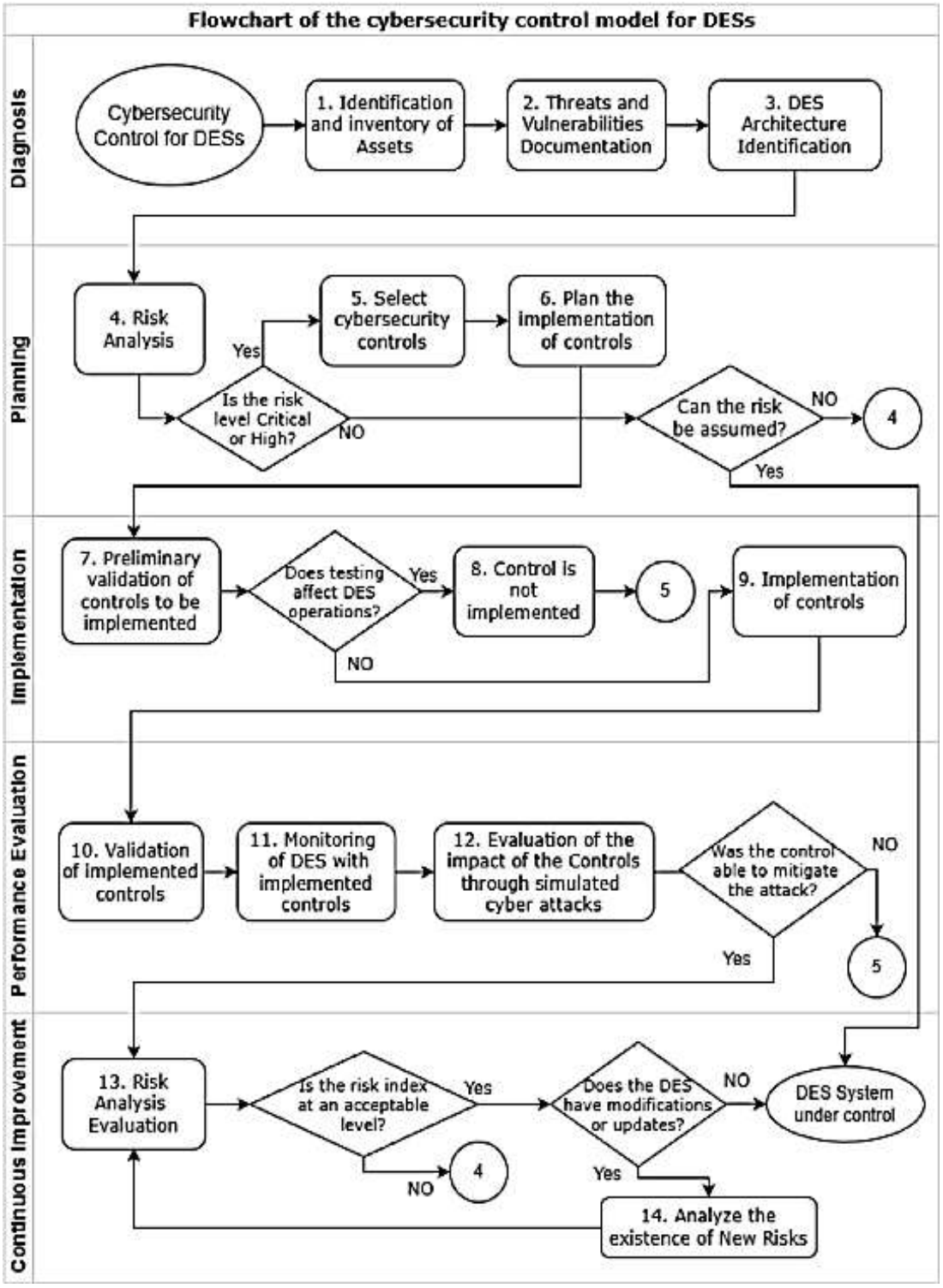


Рис. 2. Блок-схема предлагаемой модели принципа управления DES

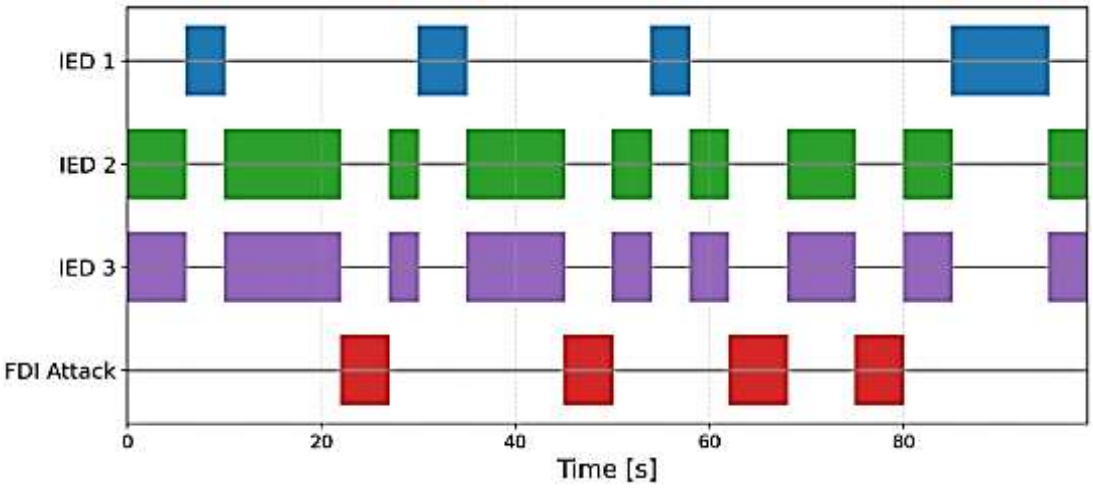


Рис. 3. Тест на атаку с использованием FDI – без средств защиты

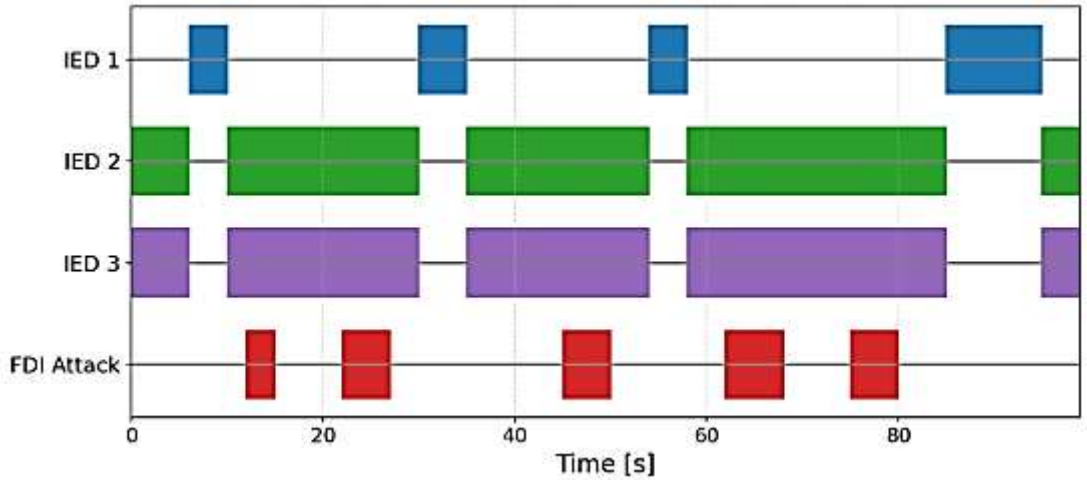


Рис. 4. Тест на атаку с использованием FDI – с применением средств защиты

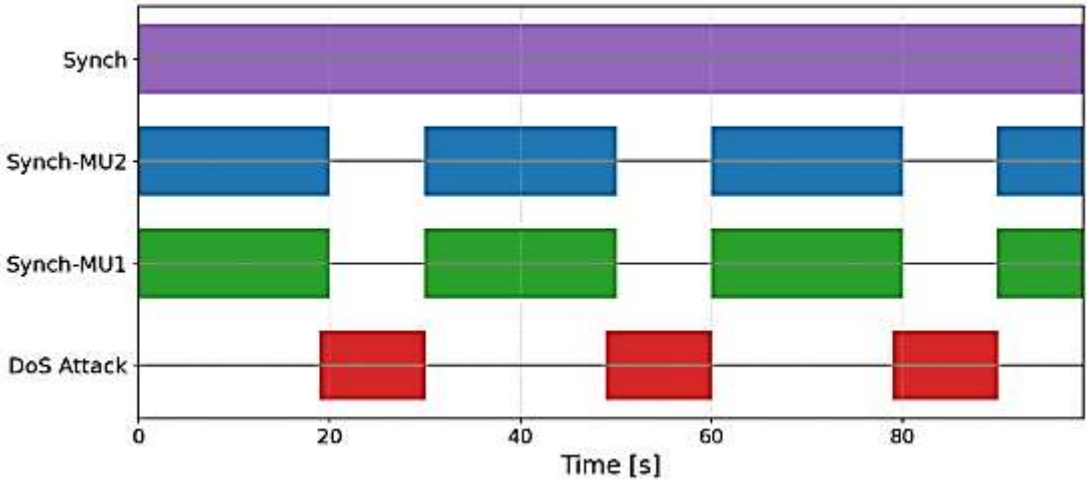


Рис. 5. Тест на DoS-атаку – без средств защиты

На рис. 6 показана система, работающая с предварительно установленным источником синхронизации времени. На рисунке видно, что модули запускаются из исходного состояния с правильной синхронизацией. При выполнении DoS-атак модули не пострадали и не вышли из строя, что свидетельствует об эффективности средств защиты от этого типа атак.

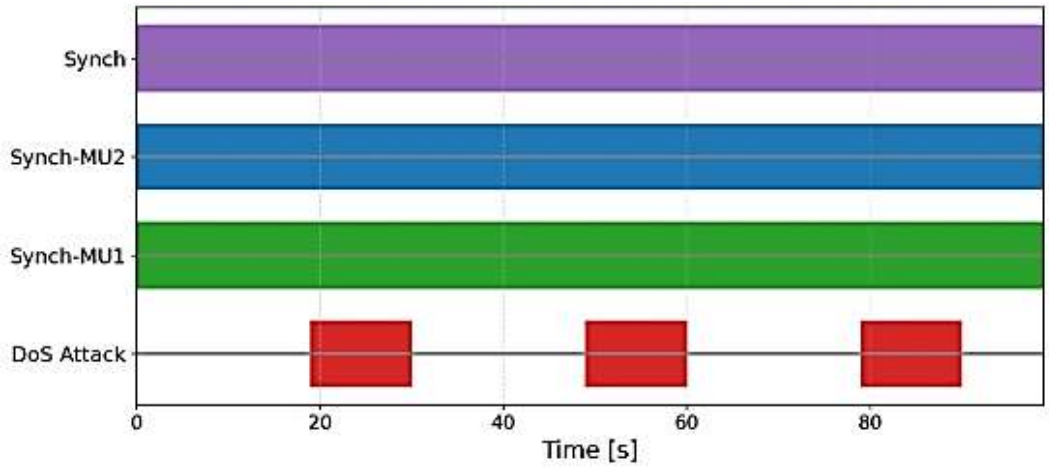


Рис. 6. Тест на DoS-атаку с использованием средств защиты

Результаты, представленные в процессе анализа, показывают, что модель эффективна в отношении изученных типов атак.

В ходе дальнейшей работы необходимо провести оценку дополнительных векторов атак, более крупных операционных архитектур и адаптивных механизмов защиты, таких как принудительное применение программно-конфигурируемых сетей и интеллектуальные стратегии обнаружения. Предложенная модель, безусловно, повышает степень защиты энергетических объектов от кибератак и может быть рекомендована к внедрению

Библиографический список

1. Куликов, А. Л. Требования к информационной безопасности в электроэнергетике и их реализация в интеллектуальных устройствах цифровых подстанций / А. Л. Куликов // Интеллектуальная электротехника : журнал. – 2022. – № 3. – С. 49–78. – Текст : непосредственный.

2. Пехота, А. Н. Технология использования сверхточных нейронных сетей при диагностике состояния трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2021. – № 12. – С. 63–69. – Текст : непосредственный.

3. DNV. Cyber Priority 2024 – Energy Sector Cybersecurity Outlook; Det Norske Veritas: Hovik, Norway, 2024. – Текст : непосредственный.

4. Антонов, Р. Б. Роль кибербезопасности цифровых подстанций в цифровизации электроэнергетики / Р. Б. Антонов, В. А. Сидоров, М. С. Медведев [и др.] // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8. – № 6(32). – С. 157–163. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Бабаков Дмитрий Денисович, студент гр. СОД.2-23-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия;

Соловьёва Оксана Александровна, ст. преподаватель кафедры «Подвижной состав и обеспечение движения», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, ksusha_s777@mail.ru;

Филиппов Сергей Анатольевич, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и обеспечение движения», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, f5002941@mail.ru.

Белоголов Ю. И., Елизарьева А. А.

ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРЕДУЗЛОВЫХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ПРОПУСКНЫХ И ПРОВОЗНЫХ МОЩНОСТЕЙ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Ситуация действительно непростая: Восточный полигон железных дорог, в сегодняшних создавшихся политических и экономических условиях, работает на пределе возможностей. В научном исследовании авторы провели комплексный анализ объектов инфраструктурного комплекса Восточного полигона, имеющих лимитированные размеры пропускных и провозных мощностей. Доказали, что дефицит вызван именно ограничениями в работе железнодорожных станций. Предпринята попытка обоснования эффективности усиления значения

предузловых станций, как ключевых точек решения проблем дефицита на элементах инфраструктуры полигона.

Ключевые слова: Восточный полигон железных дорог, дефицит инфраструктуры, организация перевозочного процесса, лимитированные величины пропускных и провозных мощностей, график движения поездов, передача по стыковым пунктам, предузловые железнодорожные станции, интегральный эффект.

Надежность реализации и качество транспортных процессов четырнадцати крупных субъектов Российской Федерации, бесперебойная реализация транзитного потока на восточном направлении страны, главным образом зависят от эффективной системы планирования и организации перевозочного процесса на объектах инфраструктурного комплекса Восточного полигона железных дорог.

Нарушения безопасности перевозочного процесса, сложные природно-климатические условия эксплуатации, технические ошибки персонала и прочие случаи риска приводят к возникновению лимитированных размеров пропускных и провозных мощностей на элементах инфраструктурного комплекса полигона, отклонениям от нормативного графика движения поездов, приросту значений эксплуатационных расходы на реализацию планового грузопотока, что отражается на финансовой и экономической стабильности работы транспортного коридора [1–4].

Согласно оценкам [1–3, 5–7] более 30 % элементов инфраструктурного комплекса Восточного полигона имеют лимитированные размеры пропускных и провозных мощностей. На рис. 1 показана динамика передачи грузовых поездов по стыковым пунктам Восточного полигона железных дорог, которая в полной мере отражает проблемы дефицита пропускных и провозных мощностей на полигоне [5, 6].

Проведенный авторами анализ объектов инфраструктурного комплекса Восточного полигона, имеющих лимитированные размеры пропускных и провозных мощностей, показал, что дефицит вызван именно ограничениями в работе железнодорожных станций. Среднее фактическое заполнение расчетных размеров для пропуска 180 млн тонн по Байкало-Амурской магистрали составляет не более 35 %, для Транссибирской магистрали – 84 % [1, 3, 5–10].

Перевозка в восточном направлении по контрольному сечению в 2025 г. представлена на рис. 2.

Доказано, что именно состояние, уровень обеспеченности и защищенности элементов инфраструктурного комплекса являются ключевыми факторами возникновения дефицита и лимитированных размеров

пропускных и провозных мощностей Восточного полигона. В данных условиях особое внимание необходимо уделять работе предузловых железнодорожных станций.

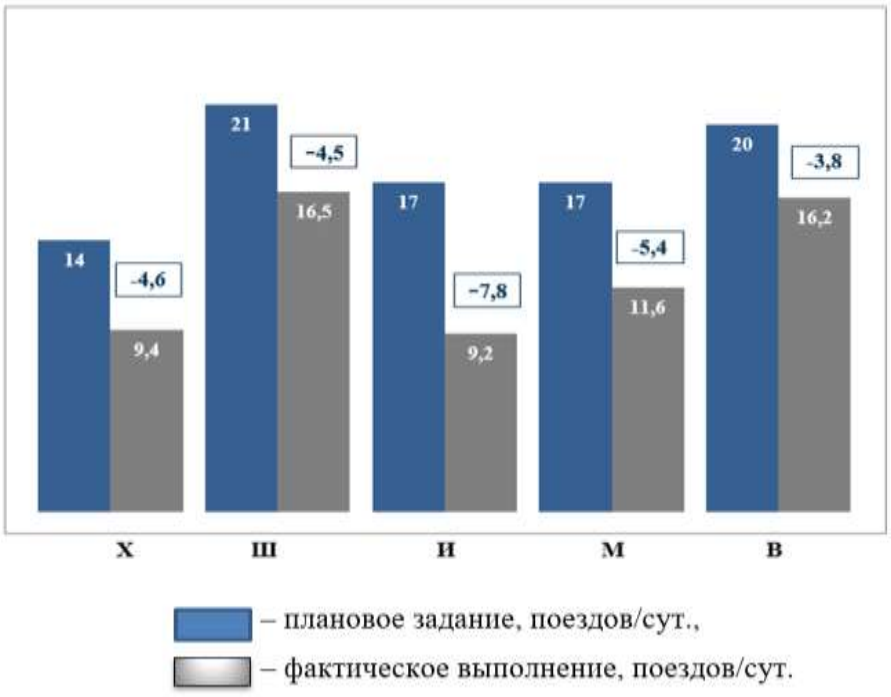


Рис. 1. Динамика передачи по стыковым пунктам, поезд/сут.



Рис. 2. Показатели грузоперевозок в восточном направлении в 2025 г.

Предузловые железнодорожные станции, являясь составной частью крупной железнодорожной сети, играют значимую роль в обеспечении грузоперевозок на восточном направлении, требуют постоянного совершенствования технологических процессов для соответствия растущим требованиям логистики и ежегодным приростом грузовой базы.

Предузловые станции сегодня, в рамках дефицита пропускных и провозных мощностей, являются важным элементом инфраструктуры Восточного полигона, который обеспечивает плавное распределение поездо- и вагонопотоков, сдерживает лимитированные размеры пропускных и провозных мощностей, обеспечивает безопасность и надежность пропуска поездов, повышает эффективность работы всего железнодорожного узла и полигона [1, 2, 7, 10].

Эффективность функционирования предузловых станций не всегда очевидна. Поэтому к оценке ее работы необходим комплексный подход. В первую очередь через эксплуатационные показатели и достигаемый долгосрочный экономический эффект, также необходимо учитывать косвенные результаты – социальные, экологические и операционные показатели. Учитывать интегральный эффект для узла и направления в целом, при котором дается оценка, как работа предузловой станции влияет на загрузку других элементов всего железнодорожного узла – технических станций, сортировочных парков, линий и пр.

Комплексный подход позволяет оценить, например:

– насколько смена локомотивных бригад на предузловой станции разгружает техническую станцию в узле. Сокращаются поездо-часы простоя на перецепке бригад, что разгружает элементы инфраструктурного комплекса, повышает производительность использования подвижного состава, исключает или сокращает непроизводительные расходы железных дорог, сокращает сроки доставки груза и пр.;

– как передача местной работы в сортировочно-группировочные парки предузловой станции по детальной подборке грузовых вагонов по фронтам погрузки-выгрузки, повлияет на работу узла. Повысится качество и скорость производства грузовых операций, снизятся задержки при производстве технологических операций по расформированию и формированию грузовых поездов;

– выполнение графика движения поездов, за счёт более гибкого подвода поездов к узлу с использованием предузловой станции, что позволяет разгрузить транспортные узлы, если присутствуют лимитированные размеры пропускных и провозных мощностей, а также в пиковые периоды загрузки и пр.

Требуется более детальный и гибкий подход к сменно-суточному планированию. Необходимо синхронизировать планы станций, диспетчерские указания, исключить управленческие подходы к работе предузловых станций, как к самостоятельным структурным подразделениям. Данные факторы показывают, что перед модернизацией или оптимизацией работы предузловой станции целесообразно проводить детальный анализ:

– моделировать сценарии производства совмещенных технологических операций;

– сопоставлять варианты с учетом специфики работы всего узла, параметров грузопотоков, кадровой обеспеченности.

Авторами проведен анализ работы железнодорожных станций: *М1* – предузловая и сортировочной станции *М2* Восточного полигона, на предмет оптимизации деятельности и выявления резерва для корректировки лимитированных размеров пропускных и провозных мощностей в условиях прироста поездопотока. Разработан и сформулирован комплекс мероприятий, задачей которых является оптимизация эксплуатационной работы железнодорожных станций *М1* и *М2*:

– процессный подход к системе управления. Стандартизация процессов деятельности станций, разработка комплексных паспортов процессов с указанием целей, входов и выходов, используемых ресурсов, ответственных лиц и показателей результативности, что позволит избежать ошибок, закрепить методы их устранения нормативными документами и обеспечить постоянное совершенствование деятельности;

– регулярный анализ предыдущих периодов и выявление «узких мест». На основе анализа можно сформировать карту резерва эффективности, которая поможет определить потенциальные направления по улучшению показателей работы станций;

– оптимизация технологических процессов, путем создания единой системы планирования перевозочной деятельности на основе процессной модели, отладка процесса «Обеспечение тяговыми ресурсами» и «Обеспечение локомотивными бригадами» для своевременной выдачи под готовые к отправлению поезда;

– модернизация инфраструктуры и техники. Удлинение приёмоотправочных путей согласно длиннее обращаемых в узле грузовых поездов, с учетом удлиненных контейнерных, модернизация технических средств (замена стрелочных переводов, установка дополнительных светофоров и пр.), внедрение более мощных поездных локомотивов с улучшенными характеристиками;

– сокращение времени технологических операций. Использование дополнительных маневровых локомотивов для ускорения обработки поездов и подач вагонов под грузовые операции;

– пересмотр и корректировка технологических документов. Анализ и перерасчёт графика движения, плана формирования, технологических процессов работы станций, включая увязку ниток графика с назначениями плана формирования;

– повышение квалификации персонала и мотивации работников с учетом классности обеих станций. Совершенствование режимов труда и отдыха, повышение профессионального мастерства, применение научной организации труда, организация работ групп качества;

– внедрение новых технологий и инноваций. Использование современных систем диагностики, прогрессивных научных разработок, активное применение информационно-коммуникационных технологий.

Решение этих задач требует системного подхода, включающего как технические, так и организационно‑технологические мероприятия. Без должной оптимизации предузловые станции могут столкнуться с ростом простоев вагонов и поездов, увеличением времени обработки подвижного состава, снижением общей пропускной способности – что в итоге приведёт к возникновению именно на их инфраструктуре лимитированных размеров пропускных и провозных мощностей, потере конкурентоспособности и снижению доходов ОАО «РЖД».

Библиографический список

1. Архит, Б. Восточный полигон железных дорог: эксплуатационные, технические и финансово-экономические аспекты деятельности / Б. Архит, Н. П. Асташков, Ю. И. Белоголов [и др.]. – Иркутск, 2025. – С. 319. – Текст : непосредственный.

2. Социально-экономические механизмы на транспорте / Е. Л. Андреянова, Н. А. Анисимова, Н. А. Афанасьева [и др.]. – Красноярск : КрИЖТ ИрГУПС, 2025. – 239 с. – Текст : непосредственный.

3. Оленцевич, В. А. Зависимость порядка организации вагонопотоков на железнодорожном транспорте и величины выпадающего дохода ОАО «РЖД» / В. А. Оленцевич // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 30. – № 12(147). – С. 193–202. – Текст : непосредственный.

4. Оленцевич, В. А. Методическое и программное обеспечение прогнозирования значений уровня безопасности функционирования железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко. –

Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2019. – 172 с. – Текст : непосредственный.

5. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. – URL : http://www.rzd.ru (дата обращения: 17.05.2026). – Текст : электронный.

6. Отчетность ОАО «РЖД» (с аудиторским заключением за 12 месяцев) // ОАО «РЖД» : сайт. – URL : https://company.rzd.ru/ru/9471 (дата обращения: 19.03.2026). – Текст : электронный.

7. Власова, А. Н. Вопросы усиления пропускных мощностей объектов железнодорожного транспорта на восточном направлении / А. Н. Власова, Ю. И. Белоголов, В. А. Оленцевич // Управление социально-экономическим развитием регионов: проблемы и пути их решения : сборник научных статей 14-й Международной научно-практической конференции. – Курск, 2024. – С. 89–92. – Текст : непосредственный.

8. Гозбенко, В. Е. Анализ уровня надежности и устойчивости организационно-технических систем перевозочного процесса железнодорожного транспорта / В. Е. Гозбенко, Ю. И. Белоголов, В. А. Оленцевич // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – № 1(57). – С. 147–156. – Текст : непосредственный.

9. Оленцевич, В. А. Анализ причин нарушения безопасности работы железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 1(37). – С. 180–183. – Текст : непосредственный.

10. Каимов, Е. В. Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог / Е. В. Каимов, В. А. Оленцевич, Н. В. Власова // В сборнике: Образование – Наука – Производство. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2-х томах. – Чита, 2022. – С. 288–296. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Белоголов Юрий Игоревич, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ИрГУПС), Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, yurka-irkutsk@yandex.ru;

Елизарьева Алина Артемовна, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ИрГУПС), Россия, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, e-mail: alinka_e.lizarevs@mail.ru.

Будин И. С., Соловьёва О. А., Филиппов С. А.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РАБОТЫ НЕЙРОСЕТИ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ ARDUINO UNO

В настоящей работе исследовано влияние ограничений вычислительных возможностей микроконтроллера на точность и устойчивость работы нейросетевого алгоритма. Актуальность исследования обусловлена необходимостью реализации алгоритмов ИИ на маломощных процессорах. Цель работы состоит в определении зависимости между архитектурой нейросети, формой представления ее параметров и качеством классификации. В рамках исследования были сформированы модельные диагностические сигналы, обучены и протестированы нейросети различной сложности, оценены точность, устойчивость к шуму, требования к памяти и времени вычислений. Также были проведены эксперименты по методам оптимизации. В качестве аппаратной платформы использован микроконтроллер Arduino Uno. Практическим результатом является программно-аппаратная реализация ресурсно-эффективного классификатора.

Ключевые слова: нейросеть, Arduino Uno, оптимизация, алгоритм, классификация.

Развитие методов машинного обучения расширяют возможности автоматизации процессов технической диагностики. Преимущество нейросетевых алгоритмов состоит в способности выявлять закономерности в измеряемых параметрах и диагностировать отклонения эффективнее обычных алгоритмов сравнения показателей с установленными номинальными значениями. В железнодорожной отрасли применение нейросетевой классификации актуально в первую очередь в области автоматики, телемеханики и связи. Однако предприятия сталкиваются с рядом ограничений, связанными с небольшим объемом памяти и производительностью процессора. Реализация даже простых нейросетей на микроконтроллере предполагает задачи по поиску компромисса между качеством работы алгоритма, методами оптимизации и архитектурой программы.

Нейронная сеть анализирует вектор входных признаков $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, где $x_1, x_2, \ldots, x_n$ – значения диагностических сигналов контролируемого объекта. Итогом работы нейронной сети является определение технического состояния объекта y.

Базовым элементом любой нейронной сети является искусственный нейрон – математическая модель, которая принимает на вход совокуп-

ность значений, каждому из которых соответствует весовой коэффициент w. Нейрон вычисляет взвешенную сумму входов с добавлением смещения b, после чего применяют функцию активации φ для введения нелинейности, без которой работа сети любой глубины была бы эквивалента линейному преобразованию, исключающие эффективность вычисления. Структура искусственного нейрона представлена на рис. 1.

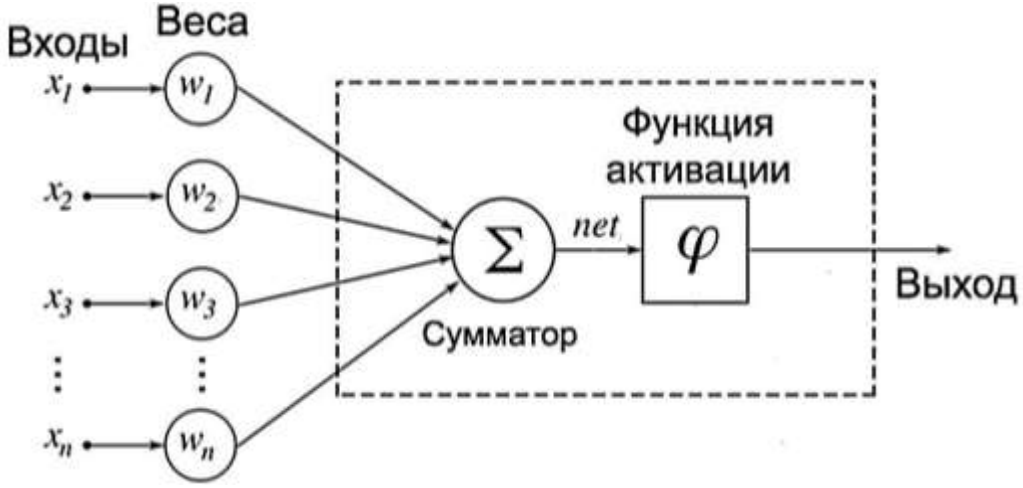


Рис. 1. Структура искусственного нейрона

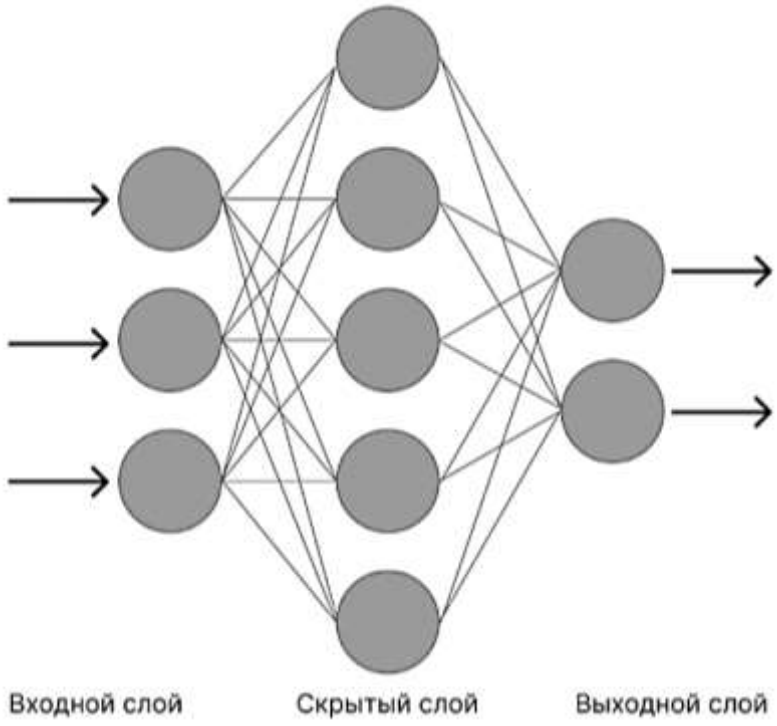


Рис. 2. Пример архитектуры полносвязного многослойного персептрона

Для решения задачи классификации нейроны формируются в полносвязную многослойную сеть (персептрон), состоящую из входного слоя, скрытого слоя и выходного слоя. Для наглядности изобразим архитектуру полносвязного многослойного персептрона, где входной слой состоит из 7 нейронов, по одному на каждый диагностический признак, а выходной слой включает в себя 5 нейронов, по одному на каждый класс состояний. Скрытый слой же состоит из h нейронов. Структура такой сети обозначается как 7→8→5. В рамках работы будут исследованы несколько значений h. Пример архитектуры полносвязного персептрона представлена на рис. 2.

Для экспериментального объекта определены следующие классы состояний:

1. Нормальная работа
2. Отклонение параметров питания
3. Превышение времени реакции
4. Несоответствие контрольных сигналов
5. Аномальное или неопределенное состояние

Для проведения эксперимента было сформировано 5000 наборов диагностических признаков, из которых 70 % (3500) – обучающая выборка, 15 % (750) – вариационная выборка и 15 % (750) – тестовая выборка. Модель диагностических признаков представлена в табл. 1.

Таблица 1

Модель диагностических признаков учебного объекта

Диагностический признак	Тип признака	Пример значения	Назначение
Напряжение питания U	Аналоговый	4,7 В	Контроль параметров питания
Условный ток нагрузки I	Аналоговый	0,18 А	Оценка режима работы цепи
Температура T	Аналоговый	28 °C	Контроль теплового состояния
Время реакции t	Временной	120 мс	Оценка быстродействия объекта
Контрольный сигнал S_1	Дискретный	1	Фиксация наличия сигнала
Контрольный сигнал S_2	Дискретный	0	Фиксация состояния второй цепи
Число циклов работы N	Целочисленный	1250	Учёт условной наработки

Таким образом, входной вектор имеет вид x = (U, I, T, t, S_1, S_2, N). Перед тем, как запустить расчет алгоритма, числовые значения необхо-

димо нормировать в диапазон от 0 до 1 относительно их максимальных и минимальных значений (1):

$$x_i' = \frac{x_i - x_{i,\,min}}{x_{i,\,max} - x_{i,\,min}}, \quad (1)$$

где x_i – исходное значение;

x_i' – нормированное значение;

$x_{i,\,max}$ – максимальное допустимое значение;

$x_{i,\,min}$ – минимальное допустимое значение.

Основной метрикой оценки качества работы алгоритма выступает общая точность классификации, которая отражает долю правильно определенных классов (2):

$$A = \frac{N_{верн}}{N_{общ}} \cdot 100\ \%\ . \quad (2)$$

В рамках исследования отдельно будет оцениваться устойчивость к помехам в входных признаках. Оценивается посредством добавления шума с последующим измерением снижения точности классификации.

Еще одной важным показателем является матрица ошибок, которая отражается количество i-го класса, ошибочно отнесенного к j-му классу.

Резюмирующим показателем качества работы алгоритма выступает комплексный критерий ресурсной эффективности (3).

$$R = \frac{A_0 \cdot K_{уст}}{(1 + \frac{M}{M_{доп}})(1 + \frac{T}{T_{доп}})}, \quad (3)$$

где A_0 – точность на исходных данных;

$K_{уст}$ – коэффициент устойчивости к шуму;

M – объём занимаемой памяти, $M_{доп}$ – допустимый объём;

T – время классификации, $T_{доп}$ – допустимое время;

Для анализа влияния ограничений вычислений на качество и устойчивость классификации были разработаны и обучены пять моделей с разным количеством нейронов скрытого слоя (от 4 до 20).

Результаты показывают (табл. 2), что модель M1 с четырьмя скрытыми нейронами демонстрирует недостаточную устойчивость, поскольку ее средняя точность составила 74,35 % при стандартном отклонении 31,74 процентного пункта. Увеличение числа скрытых нейронов до 8 (M2) повысило среднюю точность до 94,64 % и значительно снизи-

ло разброс результатов (2,28 п.п.). Дальнейшее усложнение архитектуры позволило достичь точности свыше 96 %, однако прирост при переходе от М4 к М5 составил лишь 0,19 п.п. при увеличении числа параметров на 24,4 %.

Таблица 2

Результаты обучения исходных моделей нейронных сетей

Модель	Архитектура	Средняя точность, %	Стандартное отклонение, п.п.	Средняя F1-мера	Средняя полнота пятого класса, %
М1	7→4→5	74,35	31,74	0,7108	55,20
М2	7→8→5	94,64	2,28	0,9445	77,73
М3	7→12→5	96,32	0,28	0,9625	85,60
М4	7→16→5	96,69	0,44	0,9664	87,20
М5	7→20→5	96,88	0,50	0,9683	87,47

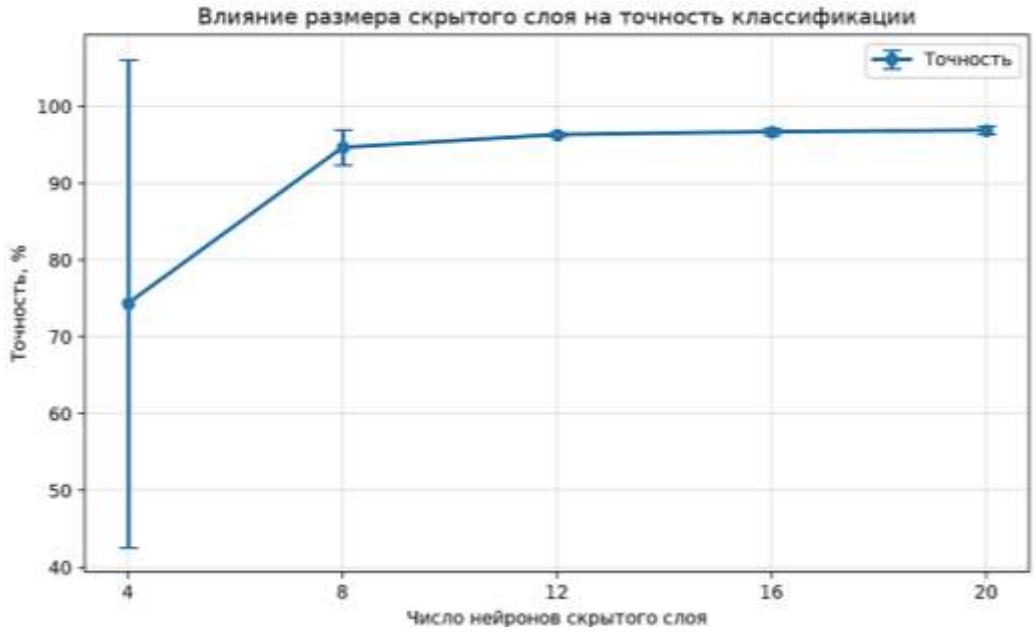


Рис. 3. Зависимость средней точности классификации от числа нейронов скрытого слоя

Зависимость точности от сложности архитектуры (рис. 3) имеет характер насыщения. После достижения 12–16 нейронов дальнейшее усложнение сети не приводит к существенному улучшению качества классификации.

Аналогичная тенденция наблюдается для макроусреднённой F1-меры и полноты распознавания аномального пятого класса (рис. 4). Полнота выявления аномальных состояний возросла с 55,20 % для М1

до 87,47 % для M5, при этом наиболее существенный прирост (22,53 п.п.) достигнут при переходе от M1 к M2.

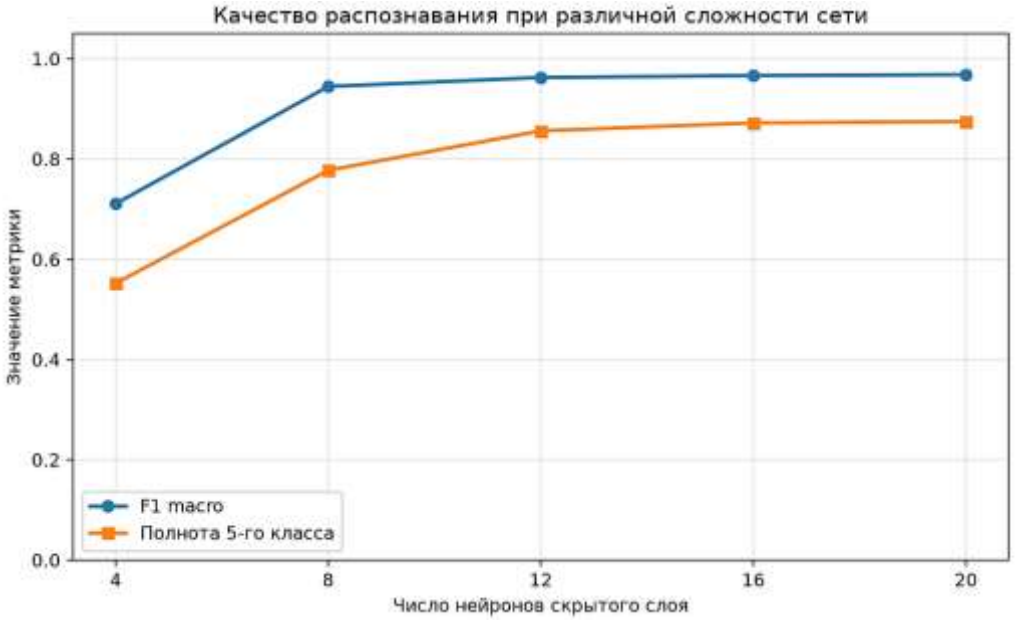


Рис. 4. Влияние числа нейронов скрытого слоя на F1-меру и полноту выявления аномального состояния

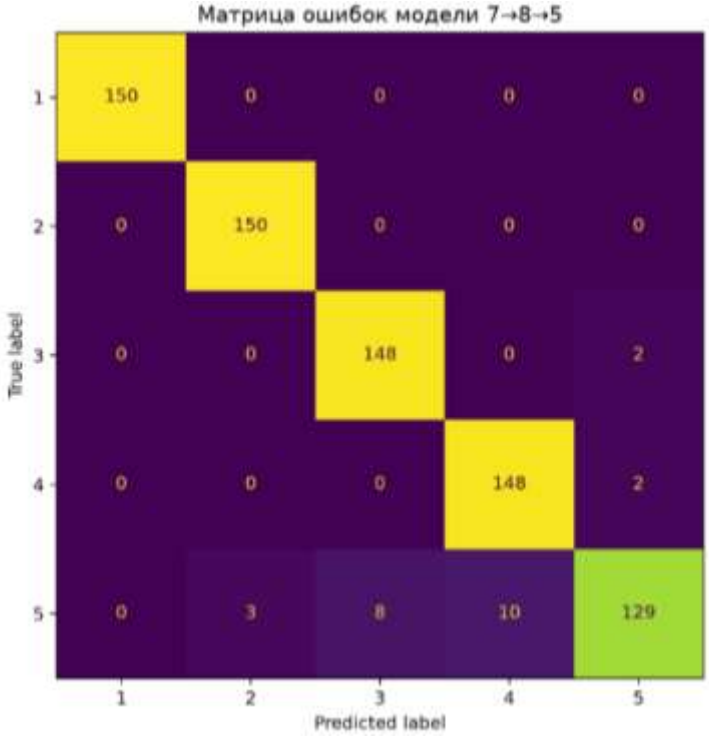


Рис. 5. Матрица ошибок модели M2 с архитектурой 7→8→5

Анализируя матрицу ошибок, можно заметить, что наибольшее количество ошибок классификации возникают в распознавании пятого класса. Сложность его определения объясняется сложной структурой и большим количеством сочетаний отклонений.

Для оценки устойчивости к шумам была проведена проверка классификации с добавлением гауссова шума с различной дисперсией к входным признакам. Для каждого уровня шума выполнялись 30 повторов. Результаты эксперемента приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследования устойчивости нейросетей к шуму

Модель	Точность без шума, %	Точность при σ=0,10, %	Снижение точности, п.п.	$K_{уст}$
M1: 7→4→5	94,53	68,75	25,78	0,8965
M2: 7→8→5	96,67	69,87	26,80	0,9028
M3: 7→12→5	96,53	66,95	29,59	0,8855
M4: 7→16→5	96,53	69,06	27,47	0,8959
M5: 7→20→5	97,20	66,20	31,00	0,8795

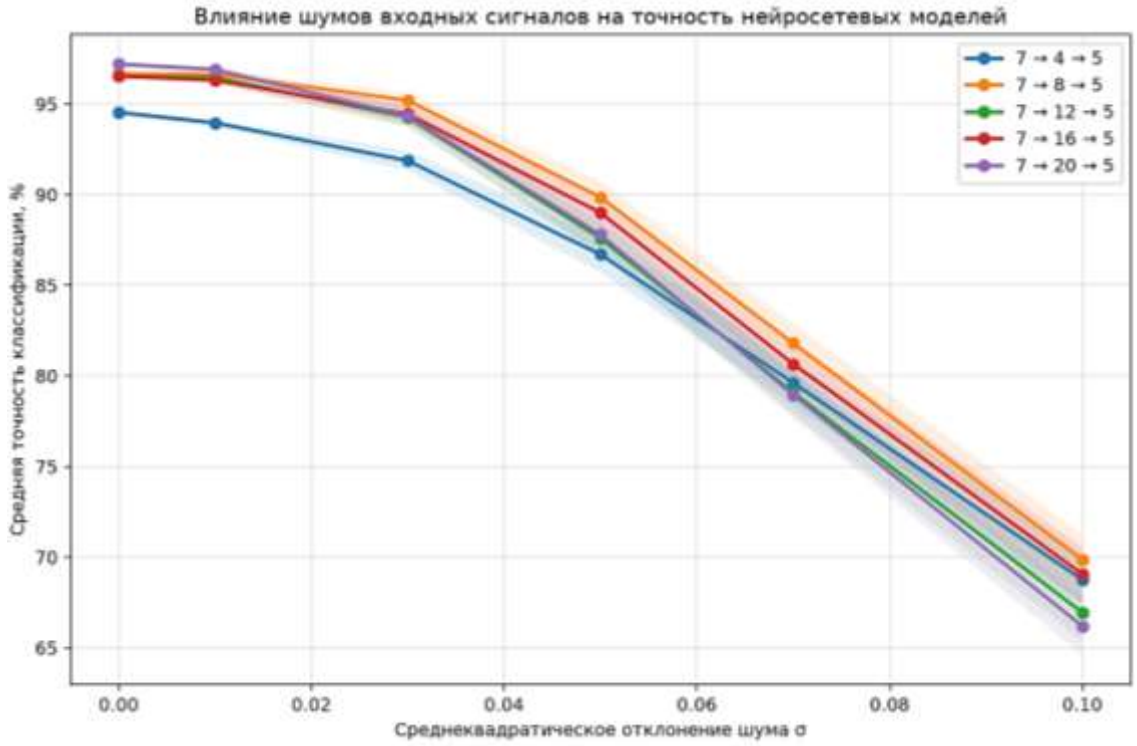


Рис. 6. Влияние уровня случайного шума входных сигналов на точность нейросетевых моделей

При уровне шума σ=0,10 модель М2 показала лучшую устойчивость $K_{уст}$=0,9028 при точности 69,87 %, а модель М5, при наибольшей точности, продемонстрировала худшую устойчивость, что означает отсутствие закономерности изменения устойчивости к шуму с изменением сложности архитектуры.

Графики изменения точности (рис. 4) и интегрального показателя устойчивости (рис. 6) подтверждают, что модель М2 обеспечивает лучший баланс между точностью и устойчивостью к помехам среди остальных моделей.

Для уменьшения занимаемой памяти исследовано влияние квантования весовых коэффициентов на качество классификации. Параметры моделей М2 и М4 были преобразованы из формата float32 в форматы int16 и int8. При этом архитектура сети, обучающая и тестовая выборки оставались неизменными.

Таблица 4

Влияние квантования параметров на характеристики нейросетевых моделей

Модель	Формат	Размер параметр, байт	Точность, %	$F1_{macro}$	Полнота пятого класса	Изменившиеся решения, %
М2	float32	436	96,67	0,9660	0,8600	0,0000
	int16	218	96,67	0,9660	0,8600	0,0000
	int8	109	96,80	0,9674	0,8667	0,1333
М4	float32	852	96,53	0,9649	0,8733	0,0000
	int16	426	96,53	0,9649	0,8733	0,0000
	int8	213	96,53	0,9646	0,8533	0,8000

Результаты показывают (табл. 4), что переход от float32 к int16 не изменил качество классификации для М2 и М4, при этом объём памяти сократился в два раза. Для модели М2 дальнейшее квантование до int8 уменьшило размер параметров с 436 до 109 байт без снижения точности. Для М4 переход к int8 также сократил память на 75 %, однако качество классификации снизилась на 0,8 %.

Графики (рис. 7-8) наглядно демонстрируют, что формат int8 обеспечивает четырёхкратное сокращение памяти в сравнении с float32, при этом качество классификации остается практически неизменной

На основе результатов вычислительного эксперимента для реализации на микроконтроллере Arduino Uno выбрана модель М2 с архитектурой 7→8→5 и параметрами в формате int8. Программная реализация выполнена на языке C++ с размещением постоянных параметров во Flash-памяти.

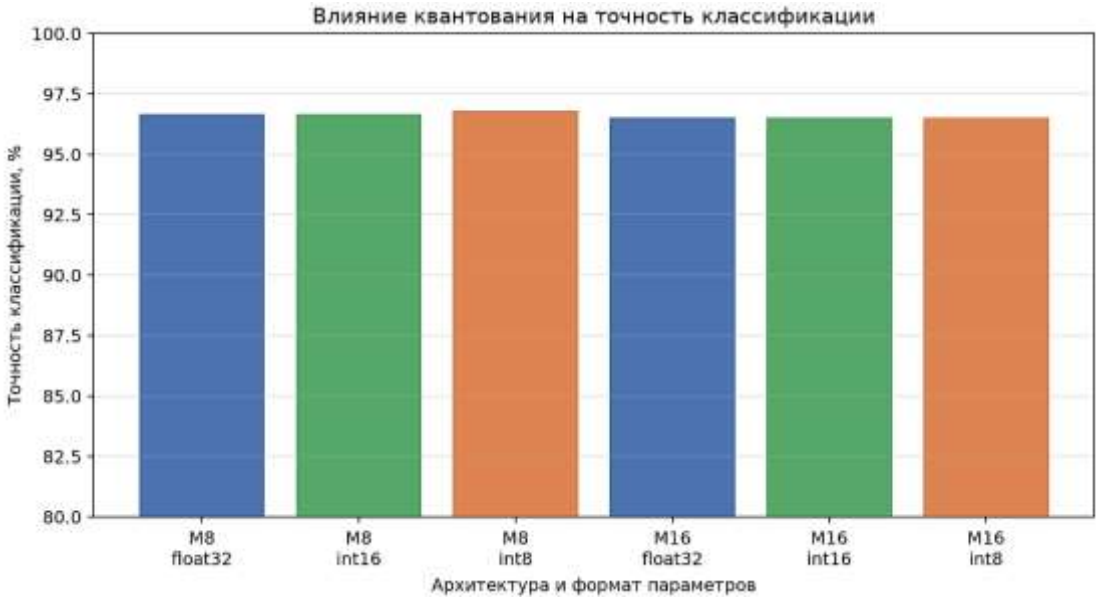


Рис. 7. Влияние квантования параметров
на точность классификации моделей M2 и M4

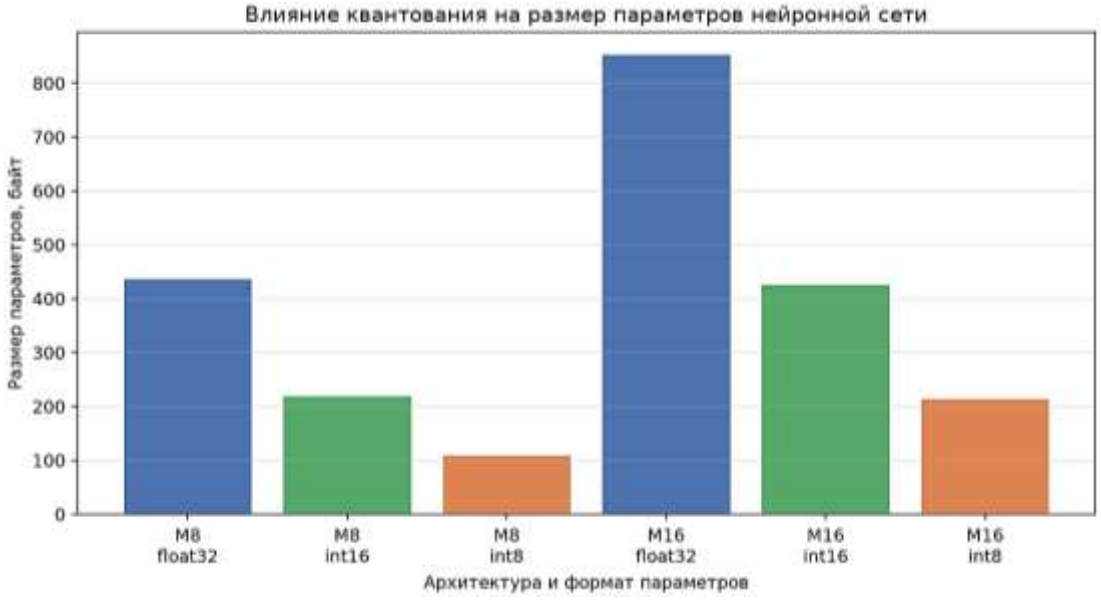


Рис. 8. Влияние квантования на размер параметров нейросетевых моделей

Фактический размер программы составил 5622 байта, что занимает лишь 17 % доступной Flash-памяти (табл. 5). Объем занятой оперативной памяти SRAM составила 397 байт (19 % доступного объёма).

Таблица 5

Использование памяти

Вид памяти	Использовано, байт	Доступно, байт	Использовано, %	Свободно, байт
Flash-память	5622	32256	17 %	26634
Оперативная память SRAM	397	2048	19 %	1651

Среднее время одной итерации выполнения алгоритма составило 481,6 мкс (табл. 6). Разброс времени между различными классами составил менее 1 мкс, что подтверждает детерминированный характер вычислений.

Таблица 6

Время выполнения нейросетевой классификации на Arduino Uno

Техническое состояние	Среднее время одного вывода, мкс
Нормальное состояние	481,356
Отклонение параметров питания	481,480
Превышение времени реакции	481,604
Несоответствие контрольных сигналов	481,484
Аномальное состояние	481,980

В ходе аппаратной проверки были корректно распознаны все пять тестовых состояний экспериментального объекта (табл. 7): нормальное состояние, отклонение параметров питания, превышение времени реакции, несоответствие контрольных сигналов и аномальное состояние.

Таблица 7

Результаты аппаратной проверки нейросетевого классификатора

Поданный входной вектор	Ожидаемый класс	Определённый класс Arduino Uno	Результат
0.50,0.40,0.31,0.12,1,1,0.25	1 – нормальное состояние	1 – нормальное состояние	Верно
0.20,0.32,0.31,0.12,1,1,0.25	2 – отклонение питания	2 – отклонение питания	Верно
0.50,0.40,0.52,0.32,1,1,0.75	3 – превышение времени реакции	3 – превышение времени реакции	Верно
0.50,0.40,0.31,0.12,1,0,0.25	4 – несоответствие сигналов	4 – несоответствие сигналов	Верно
0.20,0.32,0.75,0.35,0,1,0.90	5 – аномальное состояние	5 – аномальное состояние	Верно

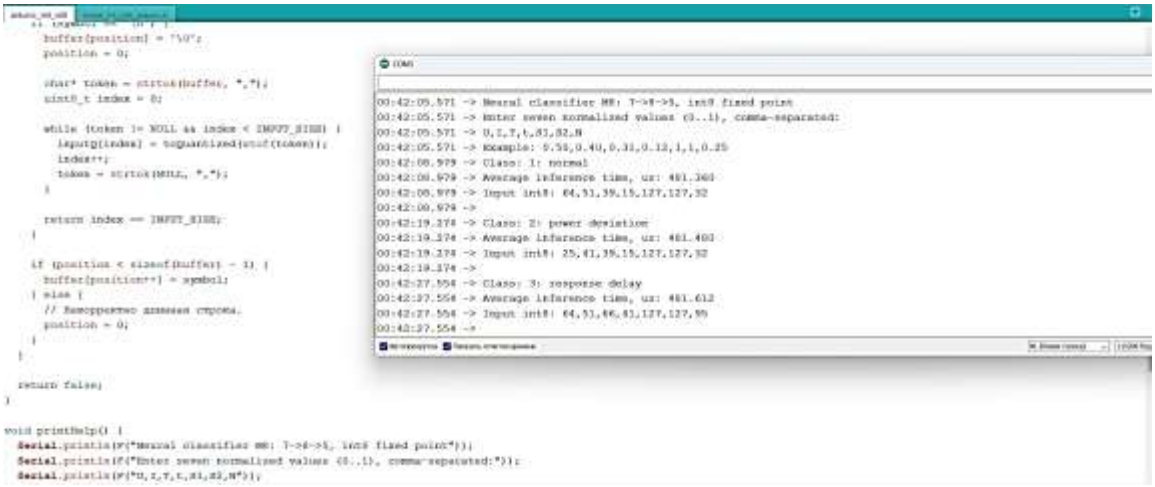


Рис. 9. Аппаратная проверка нейросетевого классификатора на Arduino Uno

Анализируя показатели разных моделей, можно сделать вывод, что модель M2 с параметрами int8 обеспечивает оптимальный баланс между качеством классификации (96,67 %), устойчивостью к помехам ($K_{уст}$=0,903), требованиями к памяти (109 байт) и быстродействием (0,482 мс). Данная модель успешно реализована на микроконтроллере Arduino Uno с 17 % использованием Flash-памяти и 19 % SRAM, что подтверждает возможность применения компактных нейросетевых алгоритмов на малоресурсных встраиваемых платформах.

Библиографический список

1. Куликова, И. В. Нейросети на Python : основы ИИ и машинного обучения / И. В. Куликова. – Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2025. – 301 с. – ISBN 978-5-907592-55-1. – Текст : непосредственный.

2. Рашид, Т. Создаем нейронную сеть / Т. Рашид [перевод с английского]. – Санкт-Петербург : Диалектика ; Москва : Вильямс, 2017. – 272 с. – ISBN 978-5-9909445-7-2. – Текст : непосредственный.

3. Goodfellow, I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. – Cambridge : MIT Press, 2016. – 800 p. – Текст : непосредственный.

4. Bishop, C. M. Pattern Recognition and Machine Learning / C. M. Bishop. – New York : Springer, 2006. – 738 p. – Текст : непосредственный.

5. Sze, V. Efficient Processing of Deep Neural Networks: A Tutorial and Survey / V. Sze, Y.-H. Chen, T.-J. Yang, J. S. Emer // Proceedings of the IEEE. – 2017. – Vol. 105, no. 12. – P. 2295–2329. – Текст : непосредственный.

6. Jacob, B. Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference / B. Jacob, S. Kligys, B. Chen [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2018. – P. 2704–2713. – Текст : непосредственный.

7. Arduino Uno Rev3 // Arduino. – URL : https://docs.arduino.cc/ hardware/uno-rev3/ (дата обращения: 14.08.2026). – Текст : электронный.

8. ATmega328P : 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash : datasheet // Microchip Technology. – URL : https://www.microchip.com/en-us/product/atmega328p (дата обращения: 14.08.2026). – Текст : электронный.

9. Arduino Language Reference // Arduino. – URL : https://docs.arduino.cc/language-reference/ (дата обращения: 14.08.2026). – Текст : электронный.

10. NumPy Documentation. – URL : https://numpy.org/doc/ (дата обращения: 14.08.2026). – Текст : электронный.

11. pandas documentation. – URL : https://pandas.pydata.org/docs/ (дата обращения: 14.08.2026). – Текст : электронный.

12. scikit-learn: Machine Learning in Python. – URL : https://scikit-learn.org/stable/ (дата обращения: 14.08.2026). – Текст : электронный.

13. Python 3 Documentation. – URL : https://docs.python.org/3/ (дата обращения: 14.08.2026). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Будин Иван Сергеевич, студент гр. СОД.2-23-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия;

Соловьёва Оксана Александровна, ст. преподаватель кафедры «Подвижной состав и обеспечение движения», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, ksusha_s777@mail.ru ;

Филиппов Сергей Анатольевич, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и обеспечение движения», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, f5002941@mail.ru.

Бушуев Е. М., Шохирева А. Е.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ TVS-ДИОДОВ В КАЧЕСТВЕ 3-Й СТУПЕНИ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ ЖАТ

Защитные элементы от перенапряжений на сегодняшний день в системах автоматики и телемеханики уступают элементам в промышленности других стран, какие элементы возможно использовать для повышения уровня надёжности.

Ключевые слова: супрессор, защитный диод, варистор, перенапряжения.

Проектирование надежного третьего каскада защиты для микропроцессорных систем ЖАТ требует другого подхода к выбору элементной базы, чем для силовых питающих сетей. Основным требованием к элементу третьего каскада является обеспечение пикосекундного времени реакции при сохранении стабильного уровня напряжения фиксации при широком диапазоне температур работы устройств.

Принцип работы TVS-диода основан на явлении обратимого лавинного пробоя в полупроводниках. При приложении к обратно смещенному p-n переходу напряжения, превышающего номинальное рабочее значение, напряженность электрического поля резко возрастает. Не основные носители заряда, электроны в p-области и дырки в n-области, попадая в сильное электрическое поле, ускоряются до энергий, достаточных для ударной ионизации атомов кристаллической решетки материала изготовления защитного диода. Процесс ударной ионизации описывается коэффициентом лавинного умножения M, который эмпирически выражается формулой Миллера:

$$M = \frac{1}{1-(\frac{V}{V_{BR}})^{n}}, \qquad (1)$$

где V – приложенное обратное напряжение;

V_{BR} – напряжение лавинного пробоя;

n – коэффициент, зависящий от типа полупроводника и профиля легирования.

Как видно из формулы (8), когда приложенное напряжение V приближается к значению V_{BR}, знаменатель стремится к нулю, а коэффициент умножения носителей заряда M лавинообразно возрастает до беско-

нечности. Это приводит к скачкообразному росту тока через диод от единиц микроампер до сотен ампер. Переход диода из закрытого состояния в режим лавинного пробоя происходит за время порядка 10^{-12} секунды, что делает TVS-диоды самыми быстродействующими элементами защиты из существующих в современной электронике.

Не менее важным фактором использования TVS-диодов вместо варисторов является их термодинамическая устойчивость. В летний период температура внутри металлического релейного шкафа, находящегося на перегоне ЗабЖД под прямыми солнечными лучами, может достигать + 50 градусов Цельсия и более.

Энергия поглощенного импульса $E=\int V_C(t)*I(t)dt$ вызывает мгновенный разогрев кристалла. Если тепло не успевает отводиться от p-n перехода к корпусу, происходит термическое разрушение. Тепловой процесс в диоде можно описать уравнением:

$$T_{j(max)} = T_a+P_{aug}*R_{th(j-a)}+\Delta T_{imp}\ , \qquad (2)$$

где $T_{j(max)}$ – максимальная температура перехода;

T_a – температура окружающей среды;

P_{aug} – средняя рассеиваемая мощность;

$R_{th(j-a)}$ – тепловое сопротивление «кристалл-среда»;

ΔT_{imp} – кратковременный скачок температуры от импульса тока.

Для надежной защиты аппаратуры необходимо применять графики снижения мощности. Для большинства диодов заявленная мощность 5000 Вт гарантируется только при T_a = 25 С. При температуре шкафа + 60 С пиковая способность диода падает на 20 %. Именно поэтому при проектировании сеток мы закладываем многократный запас: диод с номиналом 5000 Вт при экстремальной жаре будет способен безопасно рассеять 3500–4000 Вт, чего с запасом хватит для подавления наведенных грозовых и коммутационных помех. А в пасмурную погоду и вовсе будет способен рассеять по своей максимальной мощности, что говорит нам об универсальности применения диодов для защиты наших систем.

Базовая интенсивность отказов: $\lambda_б$ = 0.3 FIT, отказов на 10^9 часов. В переводе в стандартные единицы: $\lambda_б=0.3*10^{-9}$ $ч^{-1}$.

Для расчетов УЗП возьмем значение средней наработки на отказ из МУ ЦДИ-1225, которая равняется не менее 100000 часов.

Учитывая климатические условия Забайкальской железной дороги необходимо ввести коэффициент жесткости условий эксплуатации $К_Э$.

Согласно ГОСТ 15150-69 и справочным данным по надежности, коэффициент $К_Э$ зависит от категории размещения.

Забайкальской железной дороги присущ такой вид климатического исполнения как УХЛ (умеренно-холодный), который предназначен для эксплуатации в умеренных и холодных климатических зонах, где рабочий диапазон температур составляет от - 60 до + 40 С. Рассмотрим категории размещения в табл. 1.

Таблица 1

Категории и условия размещения оборудования с их $К_Э$

Категория	Условия размещения	$К_Э$
1	На открытом воздухе. Оборудование подвергается воздействию осадков, солнечного излучения, ветра и перепадов температуры	2–2.5
2	В помещениях с влажностью, схожей с открытой средой. Примеры: ангары или помещения без теплоизоляции, либо под навесом, защищающим от прямого солнца и атмосферных осадков	1.5–2
3	В закрытых помещениях с естественной вентиляцией. Температурные и влажностные условия стабильнее, чем на улице. Примеры: здания из дерева, металла или бетона с теплоизоляцией	1.2–1.5
4	В закрытых помещениях с искусственным климатом. Примеры: производственные цеха с обогревом, вентиляцией и отсутствием воздействия осадков, пыли, ветра и солнечного излучения	1
5	В помещениях с высокой влажностью. Примеры: склады с повышенным уровнем влажности, тропические зоны	1.5–2.5

Значения из данной таблицы будет использованы в пункте по расчету надежности.

Согласно ГОСТ 34012-2016, средний срок службы аппаратуры ЖАТ составляет Т = 20 лет. В часах это значение составляет t=20*365*24=175200 часов.

Рассчитаем интенсивность отказов одного диода с учетом коэффициента жесткости условий эксплуатации, которая составит:

$$\lambda_{TVS}=\lambda_б * К_Э=0.3*10^{-9}*1.3=3.9*10^{-10} \text{ отк/час} \quad (3)$$

Также рассчитаем наработку на отказ:

$$T_{ср(TVS)}=\frac{1}{\lambda_{TVS}}=\frac{1}{3.9*10^{-10}} \approx 2.56 * 10^9 \text{ часов} \quad (4)$$

Вероятность отказа одного диода Q за весь срок службы t по экспоненциальному закону:

$$Q=1-e^{-\lambda_{TVS}*t} \quad (5)$$

Ввиду малости показателя степени ($\lambda_{TVS}*t \ll 1$), используем разложение в ряд Тейлора:

$$Q\approx\lambda_{TVS}*t=3.9*10^{-10}*175200\approx0.000068328 \quad (6)$$

Таким образом, вероятность того, что один диод выйдет из строя за 20 лет, крайне мала. Вероятность его безотказной работы P=1-Q=0.999931672.

Сведем полученные значения в табл. 2.

Таблица 2

Таблица показателей надежности для TVS-диода

Показатель надежности	Ед. изм.	Полученное значение
Интенсивность отказов (λ)	1/час	$3.9*10^{-10}$
Параметр FIT	FIT	0.39
Наработка на отказ ($T_{ср}$)	час	$2.56 * 10^{9}$

Для модулей УЗП наработка на отказ в условиях УХЛ3 увеличивается по сравнению с полевыми условиями.

По результатам можно сделать вывод о возможности применения защитных диодов в качестве третьей ступени защиты электронного оборудования ЖАТ.

Библиографический список

1. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования. – Москва : Издательство стандартов, 2004. – Текст : непосредственный.

2. МУ ЦДИ-1225. Методические указания по применению устройств защиты от перенапряжения в устройствах ЖАТ [утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 30.03.2021 г.] – Текст : непосредственный.

3. ГОСТ Р 50030.4.1-2012 (МЭК 60947-4-1:2009). Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-1. Контакторы и пус-

катели (в т. ч. вакуумные). – Москва : Стандартинформ, 2013. – Текст : непосредственный.

4. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010. Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы. – Введ. 2011-12-01. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ 33436.4.1-2015. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Устройства и аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. – Введ. 2016-09-01. – Москва : Стандартинформ, 2016. – Текст : непосредственный.

6. Полупроводниковая защита: обзор основных серий TVS-диодов: база данных, содержащая устройства защиты от перенапряжения. – эл. дан. – URL : https://www.compel.ru/lib/ne/2014/12/5-poluprovodnikovaya-zashhita-obzor-osnovnyih-seriy-tvs-diodov-ot-littelfuse– Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Бушуев Евгений Михайлович, ст. преподаватель кафедры «Подвижной состав и системы обеспечения движения поездов», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия;

Шохирева Анжела Евгеньевна, студентка гр. СОД.2-22-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Власова Н. В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЯ: В ПОЛУВАГОНАХ И В КОНТЕЙНЕРАХ ТИПА OPEN TOP

В статье проведён сравнительный анализ двух технологий транспортировки угля – в полувагонах и в контейнерах типа Open Top. Рассмотрены этапы добычи (открытый и подземный способы) и погрузки угля, особенности логистики на разных участках маршрута, включая экспортные перевозки через пограничные переходы.

Детально описаны технологии погрузки в полувагоны (с использованием стационарных желобов, конвейерных стрел и передвижных конвейеров) и в контейнеры Open Top (с применением фронтальных погрузчиков, роторных экскаваторов и кранов). Проанализированы преимущества и недостатки каждого способа с точки зрения грузоподъёмности, потерь при транспортировке, скорости погрузки и доставки, экологических рисков и гибкости логистики.

Выполнен экономический расчёт для перевозки 10 000 т угля на расстояние 1 000 км. Результаты показывают, что перевозка в полувагонах обходится на 23,6 млн руб. дешевле, чем в контейнерах Open Top, главным образом из‑за более низких капитальных затрат на оборудование. Однако контейнеры обеспечивают снижение потерь угля в 6 раз и минимизацию запылённости, что повышает экологическую безопасность.

На основе анализа сформулированы рекомендации по выбору оптимального способа перевозки в зависимости от объёма груза, дальности маршрута, экологических требований и условий контракта.

Ключевые слова: уголь, логистика, транспортировка угля, полувагоны, контейнеры Open Top, погрузка угля, экспорт угля, потери угля, экономическая эффективность, экологическая безопасность, железнодорожные перевозки, пограничные переходы, ОАО РЖД.

Уголь – один из ключевых экспортных товаров России. Оптимизация логистики транспортировки угля от места добычи до порта и далее на судно позволяет снизить издержки и минимизировать экологические риски. В статье проведён сравнительный анализ двух технологий: перевозки в полувагонах и в контейнерах типа Open Top.

Добыча и погрузка угля – многоэтапный процесс, который зависит от способа добычи (открытый или подземный) и технологии транспортировки (в полувагонах или контейнерах типа Open Top). Рассмотрим каждый этап подробно [3].

Добыча угля. Существует два основных способа добычи угля: открытый (карьерный) и подземный (шахтный).

Открытая добыча применяется, когда угольные пласты залегают относительно неглубоко – до 100–150 метров от поверхности. Процесс включает:

– Вскрышные работы – удаление верхнего слоя почвы и горных пород с помощью экскаваторов, бульдозеров и самосвалов.

– Извлечение угля – после вскрытия пласта уголь добывают роторными или фронтальными экскаваторами, погрузчиками.

– Транспортировка – добытый уголь загружают в карьерные самосвалы и отправляют на обогатительную фабрику или к месту погрузки [4] (рис. 1).



Рис. 1. Открытая добыча и загрузка угля в карьерные самосвалы

Подземная добыча используется при глубоком залегании пластов. Процесс включает:

– Строительство шахт – вертикальных и наклонных стволов, по которым рабочие и техника спускаются к месту добычи.

– Добыча угля – в шахтах используют очистные комбайны, которые срезают уголь с пласта. Измельчённая порода транспортируется по ленточным конвейерам на поверхность.

– Обогащение – подземный уголь часто содержит много воды и примесей, поэтому его очищают на обогатительных комбинатах [5, 6].

Погрузка угля в полувагоны. Погрузка в полувагоны может осуществляться из бункеров (с предварительным накоплением угля) или поточным способом (без предварительного аккумулирования в ёмкостях).

Технология поточной погрузки:

– Уголь с конвейера поступает в приёмные бункеры;

– Из бункеров материал движется по весодозирующим конвейерам в погрузочные желоба;

– Желоба можно перемещать и фиксировать над железнодорожными путями;

– Погрузкой управляет система дозирования, которая может работать автоматически или в ручном режиме;

– Загруженные вагоны взвешивают на железнодорожных весах. Данные о весе передаются в автоматизированную систему управления.

Для выполнения погрузки применяют следующее оборудование:

– стационарные одно- и двухрукавные желоба;

– конвейерные стрелы;

– передвижные конвейеры с однорукавным желобом;

– передвижные конвейерные стрелы.

Особенности:

– Для равномерного заполнения кузова по длине требуется передвижное погрузочное оборудование (рис. 2).

– При использовании электронных вагонных весов достигается высокая точность дозирования (например, погрешность для полувагона грузоподъёмностью 70 т может составлять 0,5 %).

– Для минимизации потерь и запылённости могут применяться системы аспирации (вытяжная вентиляция) [3, 7].



Рис. 2. Погрузка угля с применением автомобильного погрузчика

Погрузка угля в контейнеры Open Top. Контейнеры Open Top – это контейнеры без жёсткой крыши, с возможностью укрытия тентом (брезентом) или жёсткой съёмной крышкой (Hard-Top). Они позволяют за-

гружать насыпные грузы через верх. Технология погрузки: Контейнеры устанавливают на фитинговые платформы. Уголь загружают сверху с помощью фронтальных погрузчиков, роторных экскаваторов или кранов [4, 5] (рис. 3).



Рис. 3. Погрузка угля с применением автомобильного погрузчика

После заполнения контейнеры могут укрывать тентом для защиты от атмосферных воздействий. Контейнеры типа Open Top позволяют осуществлять загрузку насыпных грузов через вверх и решают проблему перевалки на пограничных станциях при смене подвижного состава для разной ширины колеи. Перевозка угля в контейнерах разрешат проблему смерзшегося угля на пограничных станциях при перегрузке из российского подвижного состава в китайский. Контейнеры достаточно переставить с платформы на платформу либо разместить для временного хранения на специализированной площадке. Соответственно, ускоряется оборот грузовых вагонов, задействованных в перевозке [6, 8].

Через железнодорожные пункты пропуска Дальнего Востока (на границе с Китаем и Монголией) в 2025 г. в обоих направлениях перевезено 43,9 млн тонн грузов, что больше на 26%, чем годом ранее. На экспорт отправлено более 38 млн тонн. Увеличение объёмов перевозок с Китаем обусловлено высоким уровнем спроса на продукцию отечественного производства. По данным ОАО «РЖД», основной экспортной

номенклатурой грузов стали каменный уголь, пиломатериалы, железная руда, бумага, зерно, удобрения. Участники транспортно-логистического рынка стараются по максимуму использовать маршруты через пункты пропуска на государственной границе на фоне высокого уровня загрузки восточных участков Транссиба и БАМа, а также подходов к портам Дальнего Востока [4, 7].

Более половины грузов на экспорт в прошлом году было отправлено через погранпереход Забайкальск – Маньчжурия, где перевозки выросли на треть. В обоих направлениях по железной дороге передано 22 млн тонн грузов, из них на экспорт отправлено 19,5 млн тонн. В частности, 5,9 млн тонн угля (рост в 2 раза), 4,1 млн тонн железной руды (рост в 1,6 раза) и 1,9 млн тонн бумаги (увеличение на 19 %).

Росту объёмов способствует совершенствование технических и технологических процессов передачи поездов через границу и перевалки грузов, в т. ч. контейнерных. Демонстрирует устойчивый рост и транспортировка грузов через мостовой переход Нижнеленинское – Тунцзян. В прошлом году по нему в обоих направлениях было передано 3,3 млн тонн грузов. Основные грузы – российский уголь и руда, а также грузы в контейнерах [9].

По данным ОАО «РЖД», в марте 2026 года во всех видах сообщения (внутрироссийское, экспорт, импорт и транзит) по сети перевезено 679 тыс. гружёных и порожних контейнеров [1, 2]. Эксперты рынка объясняют увеличение объёмов сочетанием сезонного фактора и оживлением импортных потоков через железнодорожную сеть.

Март традиционно выступает месяцем восстановления деловой активности после слабого февраля, а в 2026 г. этот эффект усилился расширением поставок промышленных товаров и химической продукции, и грузов добывающей отрасли.

При этом мартовский рост во многом компенсировал слабые показатели января – февраля. Всего в I квартале перевозки контейнеров во всех видах сообщения составили 1 млн 904 тыс. гружёных и порожних ДФЭ. Это на 2 % меньше, чем за аналогичный период прошлого года. Для сравнения: за первых два месяца текущего года по сети ОАО «РЖД» было перевезено 1,224 млн ДФЭ, что на 4,9 % меньше, чем за аналогичный период 2025 года. Лидерами по объёмам во всех видах сообщения стали химикаты и сода – 216,8 тыс. ДФЭ (+6,1 % к уровню января – марта 2025 года) и промышленные товары – 131,4 тыс. ДФЭ (+27,2 %). Кроме того, в плюсе перевозки цветной руды (+31,3 %), нефтяных грузов (+12,9 %), цветных металлов (+10,6 %), зерна (+6,5 %), угля (+5,4) [1, 2] (рис. 4).

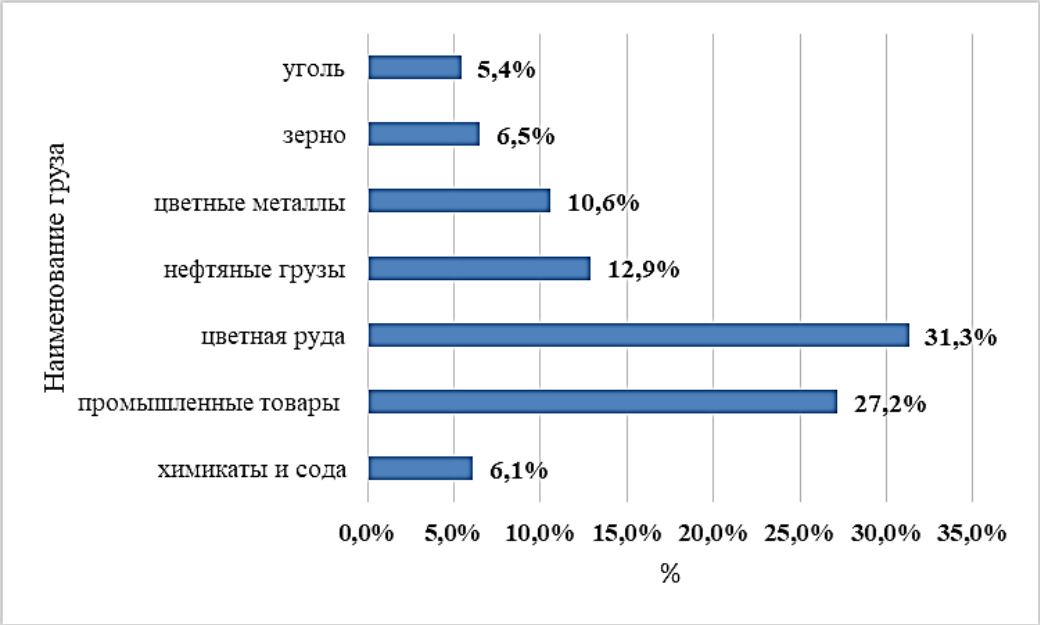


Рис. 4. Анализ перевозки грузов в контейнерах, % за 1 квартал 2026 г. к уровню 1 квартала 2025 г.

Особенности погрузка в Open Top-контейнеры по технологии не отличается от погрузки в полувагоны. Существуют два способа выгрузки угля из таких контейнеров:

– с помощью вилочного погрузчика высокой грузоподъёмности, который переворачивает контейнер на 180° («вверх ногами»);

– через двери контейнера с помощью автомобиля-контейнеровоза, приподнимающего контейнер под углом по принципу самосвала

Преимущества контейнеров Open Top:

– снижение потерь и запылённости по сравнению с полувагонами;

– возможность использования стандартных фитинговых платформ;

– упрощение перевалки на пограничных станциях при смене подвижного состава [8, 12].

Недостатки:

– меньшая грузоподъёмность по сравнению с полувагонами;

– необходимость организации контейнерных поездов;

– риск повреждения конструкции из-за отсутствия крыши.

Таблица 1

Сравнение технологий перевозки угля

Параметр	Полувагоны	Контейнеры Open Top
Грузоподъёмность	До 69 т	32 т (для 20-футового контейнера)

Окончание табл. 1

Параметр	Полувагоны	Контейнеры Open Top
Оборудование для погрузки	Стационарные желоба, конвейерные стрелы, передвижные конвейеры	Фронтальные погрузчики, роторные экскаваторы, краны
Потери при транспортировке	Выше из-за рассыпания	Ниже благодаря возможности укрытия тентом
Скорость погрузки	Зависит от оборудования и организации процесса	Может быть выше при использовании специализированной техники
Применение	Широко распространена, подходит для больших объёмов	Перспективна для экспортных перевозок, особенно в страны с развитой контейнерной логистикой
Скорость доставки	Скорость доставки: зависит от графика движения составов	Скорость доставки: выше за счёт организации контейнерных поездов с фиксированным расписанием
Затраты	Стандартные тарифы РЖД, без дополнительных скидок	Рост тарифа на 11 % на тонну груза, но с понижающим коэффициентом за счёт контейнерных поездов (согласно Прейскуранту 10-01)
Риски	Потери угля при транспортировке, запылённость вдоль маршрута	Минимальные потери и запылённость

Для сравнения выполним экономический расчёт перевозки угля в полувагонах и в контейнерах. Объём перевозки: 10 000 т угля, расстояние: 1 000 км.

Таблица 2

Экономический расчёт перевозки угля в полувагонах и в контейнерах

Параметр	Полувагоны	Контейнеры Open Top
Тариф ОАО «РЖД»	500 руб./т	555 руб./т, (с учётом роста на 11 %)
Стоимость оборудования	2 млн руб./ед. (грузоподъёмность 69 т)	500 тыс. руб./ед. (грузоподъёмность 32 т), платформы: 1 млн руб./ед. (вмещает 2 контейнера)
Эксплуатационные расходы	50 руб./т (погрузка / выгрузка, обслуживание)	контейнеры: 30 руб./т (погрузка/выгрузка, обслуживание)
Потери угля	3 %	0,5 %

Окончание табл. 2

Параметр	Полувагоны	Контейнеры Open Top
Расчёт затрат	Количество полувагонов: 6910 000 ≈145 ед. Стоимость вагонов: 145×2 000 000=290 млн руб. Транспортные расходы: 10 000×500=5 млн руб. Эксплуатационные расходы: 10 000×50=0,5 млн руб. Потери угля (стоимость): 10 000×0,03×1 000=0,3 млн руб. (при цене угля 1 000 руб./т) **Итого: 295,8 млн руб.**	Количество контейнеров: 3210 000 ≈313 ед. Количество платформ: 2313 ≈157 ед. Стоимость контейнеров: 313×500 000=156,5 млн руб. Стоимость платформ: 157×1 000 000=157 млн руб. Транспортные расходы: 10 000×555=5,55 млн руб. Эксплуатационные расходы: 10 000×30=0,3 млн руб. Потери угля (стоимость): 10 000×0,005×1 000=0,05 млн руб. **Итого: 319,4 млн руб.**

Проведённый экономический расчёт для перевозки 10 000 т угля на расстояние 1 000 км показывает, что перевозка в полувагонах экономически выгоднее, чем в контейнерах Open Top. Разница составляет 23,6 млн руб. в пользу полувагонов. Здесь контейнеры проигрывают из‑за необходимости закупать не только контейнеры, но и платформы для их перевозки. Несмотря на более низкую цену единицы контейнера (500 тыс. руб.) по сравнению с полувагоном (2 млн руб.), суммарные затраты на оборудование оказываются выше. Контейнеры выигрывают по этой статье на 0,2 млн руб. благодаря более низкой стоимости погрузки/выгрузки и обслуживания. Контейнеры существенно выигрывают по сохранности груза: потери сокращаются в 6 раз, что экономит 0,25 млн руб. Ключевые факторы, определившие результат [10, 13]:

– Высокая стоимость инфраструктуры для контейнеров. Необходимость закупки платформ удваивает затраты на оборудование.

– Меньшая грузоподъёмность контейнеров. Для перевозки того же объёма угля требуется больше единиц техники (контейнеров и платформ), что увеличивает капитальные затраты.

– Компенсация преимуществ контейнеров. Более низкие эксплуатационные расходы и меньшие потери угля не перекрывают разницу в стоимости оборудования и тарифах.

Заключение

Перевозка угля в контейнерах Open Top требует больших капитальных вложений, но обеспечивает:

– снижение эксплуатационных расходов и потерь угля;

– экологическую безопасность;

– гибкость логистики.

Для крупных объёмов и долгосрочных контрактов контейнеры Open Top могут быть выгоднее за счёт снижения потерь и экологических издержек. Полувагоны остаются оптимальным выбором для коротких маршрутов и небольших объёмов. При проведенном анализе можно выделить следующие основные рекомендации:

– Для крупных объёмов и долгосрочных контрактов целесообразно рассмотреть комбинированные схемы: полувагоны для доставки до логистических хабов, контейнеры – для финальной перевозки в порт или на экспорт [11, 12].

– Маршруты с высокими экологическими требованиями (приграничные зоны, густонаселённые районы) предпочтительнее обслуживать контейнерами Open Top из‑за минимальных потерь и запылённости.

– На коротких маршрутах и небольших объёмах экономически оправданы полувагоны, особенно при наличии готовой инфраструктуры для их погрузки/выгрузки.

– Для снижения экологических рисков при использовании полувагонов рекомендуется внедрять автоматизированные системы пылеподавления и аспирации.

– При росте спроса на экспорт угля (особенно в страны Азии) стоит инвестировать в развитие контейнерной логистики, включая строительство терминалов для Open Top‑контейнеров и оптимизацию графиков контейнерных поездов.

Таким образом, выбор технологии перевозки должен базироваться на комплексном анализе затрат, экологических норм, логистических условий и стратегических целей компании. Оптимизация этих параметров позволит снизить издержки и повысить конкурентоспособность угольного экспорта России.

Библиографический список

1. Гудок//Gudok.ru : сайт. – URL : https://gudok.ru/newspaper/?ID=1751656&archive=2026.04.09 (дата обращения: 19.04.2026). – Текст : электронный.

2. Российские железные дороги // ОАО «РЖД». – URL : http://www.rzd.ru (дата обращения: 19.04.2026). – Текст : электронный.

3. Стельмашенко, К. В. Комплексная экономическая оценка эффективности перевозок угля в восьмиосных вагонах нового поколения для всех участников перевозочного процесса / К. В. Стельмашенко //

Транспортное дело России. – 2025. – № 2. – С. 45–47. – Текст : непосредственный.

4. Перфильева, П. В. Инновационные подходы к совершенствованию качества предоставления услуг клиентам железнодорожного транспорта / П. В. Перфильева, А. С. Кашкарев, Н. В. Власова // Современные инновации в науке и технике : сборник научных статей 12-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием ; отв. редактор М. С. Разумов. – Курск, 2022. – С. 193–196. – Текст : непосредственный.

5. Ульданова, Е. С. Методика расчета норм естественной убыли при перевозке угля в контейнерах типа Open top по сравнению с классическими способами в вагонах / Е. С. Ульданова // Современные методы и принципы управления перевозочным процессом на транспорте : сборник трудов Научно-практической конференции с международным участием ; под общей редакцией Г. М. Биленко, И. А. Трушиной. – Москва, 2023. – С. 356–363. – Текст : непосредственный.

6. Антонова, А. В. Инновационные методы перевозки и технология погрузки навалочных грузов в крупнотоннажные контейнеры типа "Open top" / А. В. Антонова, Н. В. Власова // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 4(14). – С. 17–22. – Текст : непосредственный.

7. Власова, Н. В. Перераспределение грузопотоков в различные виды подвижного состава с учетом современных требований рынка транспортно-логистических услуг / Н. В. Власова, Е. Ю. Царегородцева // Экономика железных дорог. – 2025. – № 2. – С. 69–82. – Текст : непосредственный.

8. Псеровская, Е. Д. Исследование влияния формы поверхности навалочных грузов на выдувание при транспортировке / Е. Д. Псеровская, Р. А. Овчинников // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4(63). – С. 53–61. – Текст : непосредственный.

9. Власова, Н. В. Прогрессивные подходы к организации перевозок угольной продукции в специализированных контейнерах типа «опентоп» / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич, М. С. Петров // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск, 2022. – С. 131–136. – Текст : непосредственный.

10. Шувалов, Ю. Ю. Технология погрузки угля в специализированные контейнеры на углепогрузочном комплексе / Ю. Ю. Шувалов, Е. В. Шувалова // Вестник государственного университета морского

и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2020. – Т. 12. – № 5. – С. 868–876. – Текст : непосредственный.

11. Перфильева, П. В. Перевозка навалочных грузов в инновационных контейнерах / П. В. Перфильева, А. С. Кашкарев, Н. В. Власова // Современные материалы, техника и технология : сборник научных статей 11-й Международной научно-практической конференции. – Курск, 2021. – С. 330–334. – Текст : непосредственный.

12. Псеровская, Е. Д. Исследование особенностей формирования модели процесса выдувания угля при транспортировке / Е. Д. Псеровская, Р. А. Овчинников // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах : сборник трудов в двух частях. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 179–186. – Текст : непосредственный.

13. Руш, Е. А. Перспективные мероприятия, направленные на экологическую защиту при работе с углем на производственных участках терминально-складского комплекса / Е. А. Руш, Н. В. Власова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 2(78). – С. 20–32. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Власова Наталья Васильевна, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутская область, г. Иркутск, Россия, natalya.vlasova.76@list.ru.

Востриков М. В., Кизима И. В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ШАБЛОНОВ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СОСТАВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ФИДЕРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Статья является продолжением комплексной работы, направленной на более четкое разграничение режимов работы микропроцессорных релейных защит (МРЗ) фидеров контактной сети (ФКС) тяговых подстанций железных дорог переменного тока в части возможного снижения общего числа аварийных отключений, в т. ч. и по неустановленным причинам. Сама же микропроцессорная релейная защита фидеров контактной сети при этом рассматривается как автоматизированная подсистема (АП) нижнего и среднего уровня в структуре авто-

матизированной системы управления (АСУ) тяговой подстанции переменного тока (ТППТ).

Ключевые слова: автоматизированная подсистема, микропроцессорная релейная защита, фидер контактной сети, система тягового электроснабжения, график движения поездов, КОРТЭС, аварийное отключение, непрерывный мониторинг, шаблон аварийной ситуации, имитационная модель.

Согласно [1], для качественного и количественного улучшения численных показателей перевозочного процесса необходимо обеспечение повышения энергоэффективности функционирования системы тягового электроснабжения (СТЭ), а также надежное и бесперебойное снабжение электроэнергией тягового подвижного состава при организации движения поездов, снижение числа нарушений нормальных режимов работы объектов электроэнергетики, напрямую связанных с обеспечением железнодорожной инфраструктуры [2] и ввод в эксплуатацию новых эффективных технических устройств, оснащенных автоматическими или автоматизированными системами регулирования и управления [3].

Классификация устройств МРЗ ФКС, используемых в настоящее время на Забайкальской железной дороге, представлена на рис. 1.

Любая современная АСУ для управления режимами работы линейных объектов СТЭ (тяговых подстанций, постов секционирования, пунктов параллельного соединения и т. д.) [4, 5] включает в себя нижний, средний и верхний уровень. Программно-аппаратная часть МРЗ, как правило, интегрирована в нижний уровень, средний уровень (ПЭВМ дежурного персонала) используется лишь для мониторинга текущей поездной ситуации через информационный канал ГИД "Урал-ВНИИЖТ" без возможности доступа к базам данных в режиме реального времени [6]. Верхний уровень содержит интерфейсы, серверы, цифровые протоколы и обеспечивает интеграцию с другими электроэнергетическими объектами (рис. 2).

Любые (плановые и неплановые) отключения фидеров контактной сети приводят к полному отсутствию напряжения, необходимого для питания тягового подвижного состава, и, следовательно – к полной остановке поезда/поездов по одному или обоим путям в границах отключенного участка контактной сети. Вынужденный простой поездов приводит не только к финансовым затратам из-за нарушения графика движения, но и к существенному уменьшению общего грузооборота участка железной дороги на станциях и перегонах [2, 7].



Рис. 1. Классификация устройств МРЗ ФКС

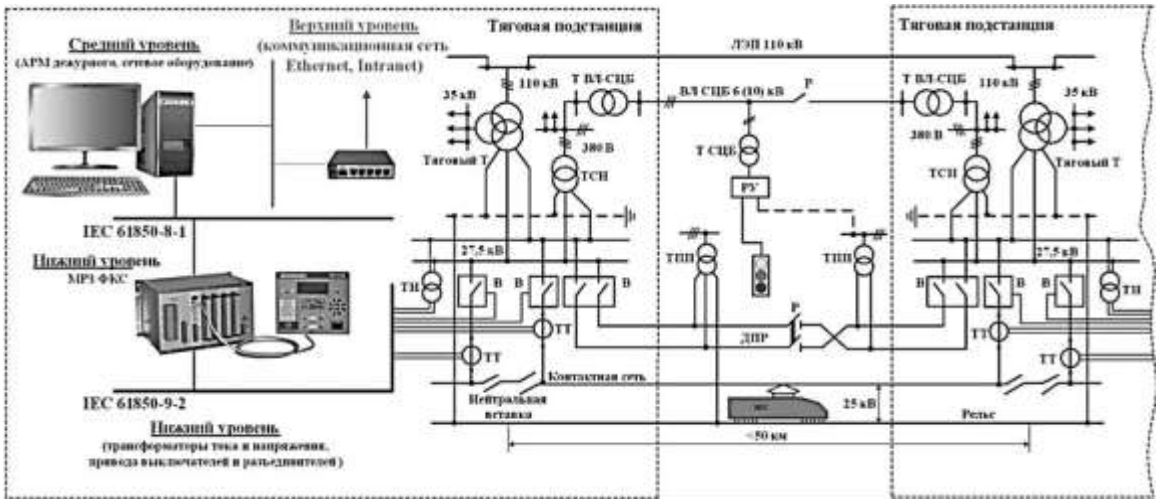


Рис. 2. Роль и место АП МРЗ ФКС в составе АСУ ТППТ при организации и обеспечении процесса движения поездов

Анализ многолетних статистических данных по аварийным отключениям МРЗ тяговых подстанций в границах ответственности Забайкальской дирекции по энергообеспечению позволил выявить факт того, что четвертая часть от общего их числа приходится на неустановленные причины. Поэтому эти причины могут быть отнесены к отдельной категории (по причине пусковых и переходных токов, возникающих и протекающих в контактной сети при различных вариантах схем питания и секционирования участка и режимах работы тяговых подстанций с привязкой к графику движения поездов). Уточненная классификация причин аварийных отключений устройств МРЗ ФК приведена на рис. 3.

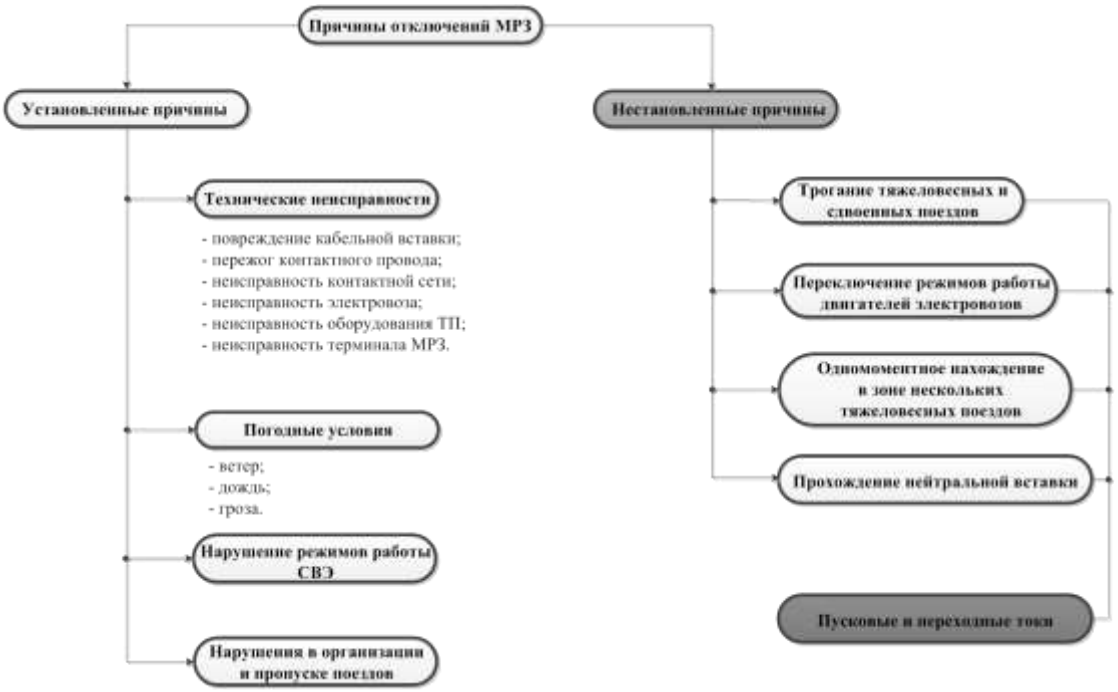


Рис. 3. Классификация причин аварийных отключений микропроцессорных устройств релейной защиты ФКС на основе анализа статистических данных

Проблема, требующая современных научно-технических подходов и инженерных решений, заключается в том, что при эксплуатации существующих устройств релейной защиты отсутствует возможность непрерывного мониторинга и фиксации контролируемых электрических параметров. Это существенно снижает качество анализа и разбора причин, приведших к аварийному отключению или изменению режима работы СТЭ. Большую информативность (шаблон аварийной ситуации) можно будет получить за счет одновременного наложения трех независимых источников информации: on-line визуализация контролируемых электрических параметров, процесс прогнозирования их дальнейшего изменения во времени и соотнесение с графиком исполненного движения (канал «ГИД-Урал»).

Для получения необходимой информации, а также при расследовании и выявлении причин, приведших к аварийному отключению, чаще всего используется ПК «КОРТЭС» [8]. Однако у него имеются ограничения и недостатки, связанные с усреднением уровня напряжения в контактной сети, невозможностью полноценно учесть и оценить влияние современных управляемых устройств фильтрации и компенсации реактивной мощности, параметры системы внешнего электроснабжения и нагрузку плеч питания тяговых подстанций в случае моделирования поездной ситуации в границах одной межподстанционной зоны.

При этом погрешности в самих расчетах и, следовательно, в результатах этих расчетов могут достигать (в некоторых случаях) 5 – 10 %.

В работах [9, 10] рассматриваются возможные варианты повышения селективности работы штатных терминалов микропроцессорных релейных защит за счет модернизации и усовершенствования автоматизированных систем управления технологическими процессами и внедрения технологий линейки «Цифровая подстанция». С учетом всех озвученных ранее предложений и технических усовершенствований терминала МРЗ ФКС [10] итоговая структурная схема его увязки с АСУ ТППТ приведена на рис. 4.

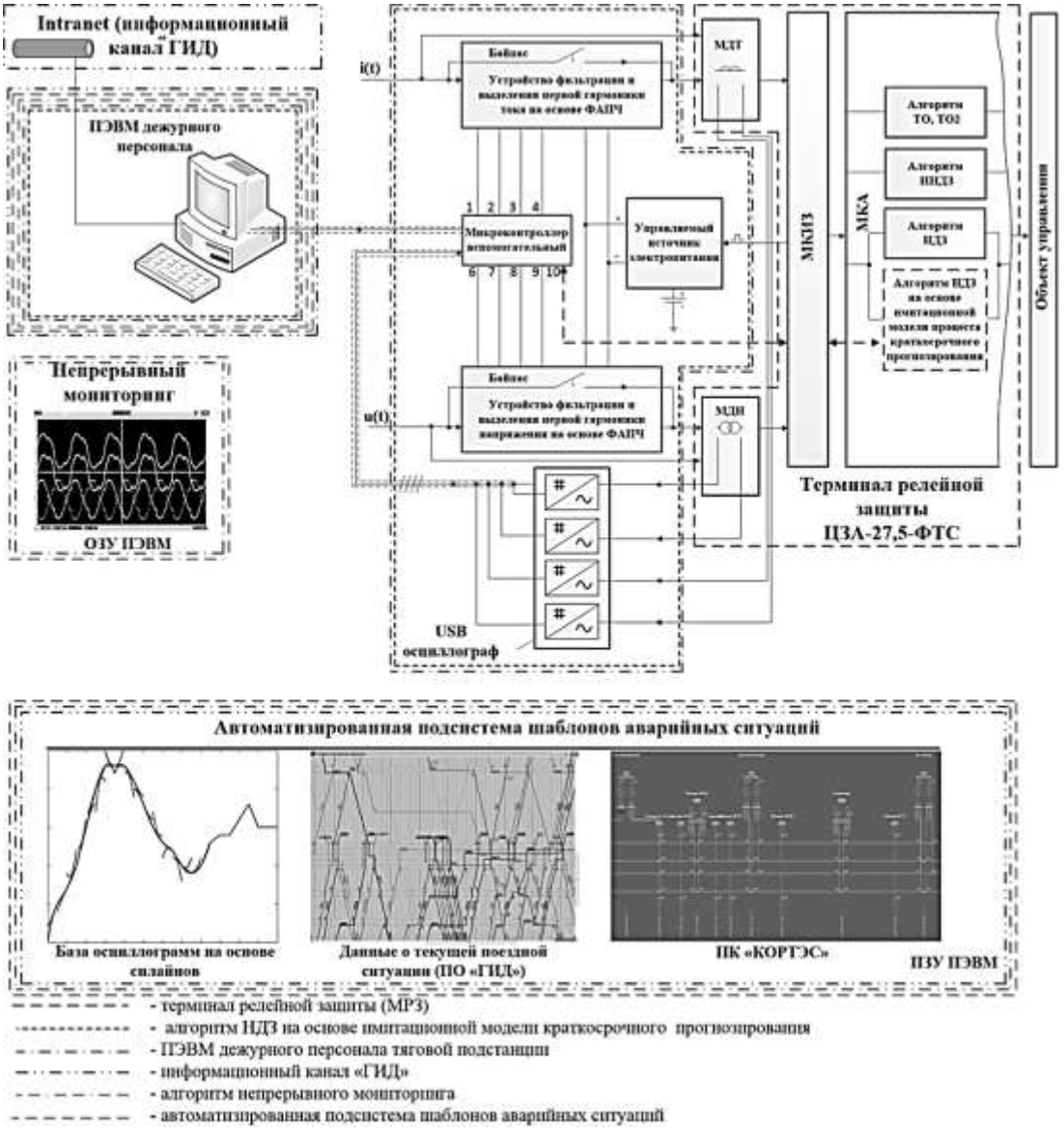


Рис. 4. Общий вид штатного терминала АП МРЗ ФКС с учетом предлагаемых усовершенствований в АСУ ТППТ (на нижнем и среднем уровне)

Дальнейшее усовершенствование автоматизированной подсистемы шаблонов аварийных ситуаций заключалось в разработке специализированного программного обеспечения «Akima» в среде программирования Python [11] и разработке имитационной модели по оценке и учету электрических параметров ФКС при различных режимах работы СТЭ участка железной дороги переменного тока в ПК Multisim 14.0 [12, 13]. Блок-схема и алгоритм разработанной и предлагаемой имитационной модели приведены на рис. 5.

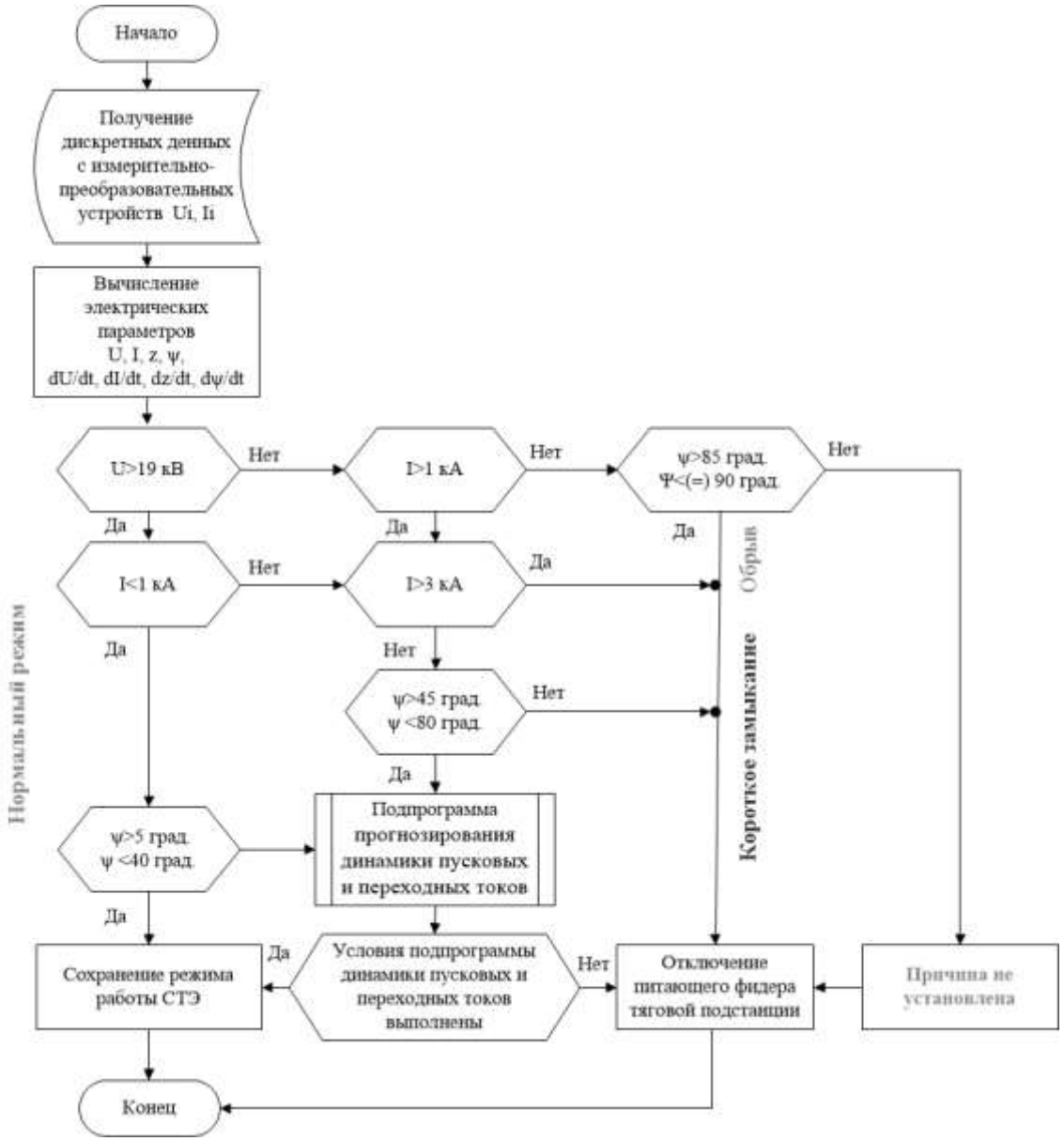


Рис. 5. Блок-схема и обобщенный алгоритм имитационной модели в ПК Multisim 14.0 по оценке электрических параметров ФКС при различных режимах работы СТЭ участка железной дороги

Итоговая схема с учетом предлагаемой иерархии интегрирования усовершенствованной автоматизированной подсистемы шаблонов аварийных ситуаций в терминал МРЗ ФКС и в ОЗУ и ПЗУ ПЭВМ дежурного персонала тяговой подстанции представлена на рис. 6.

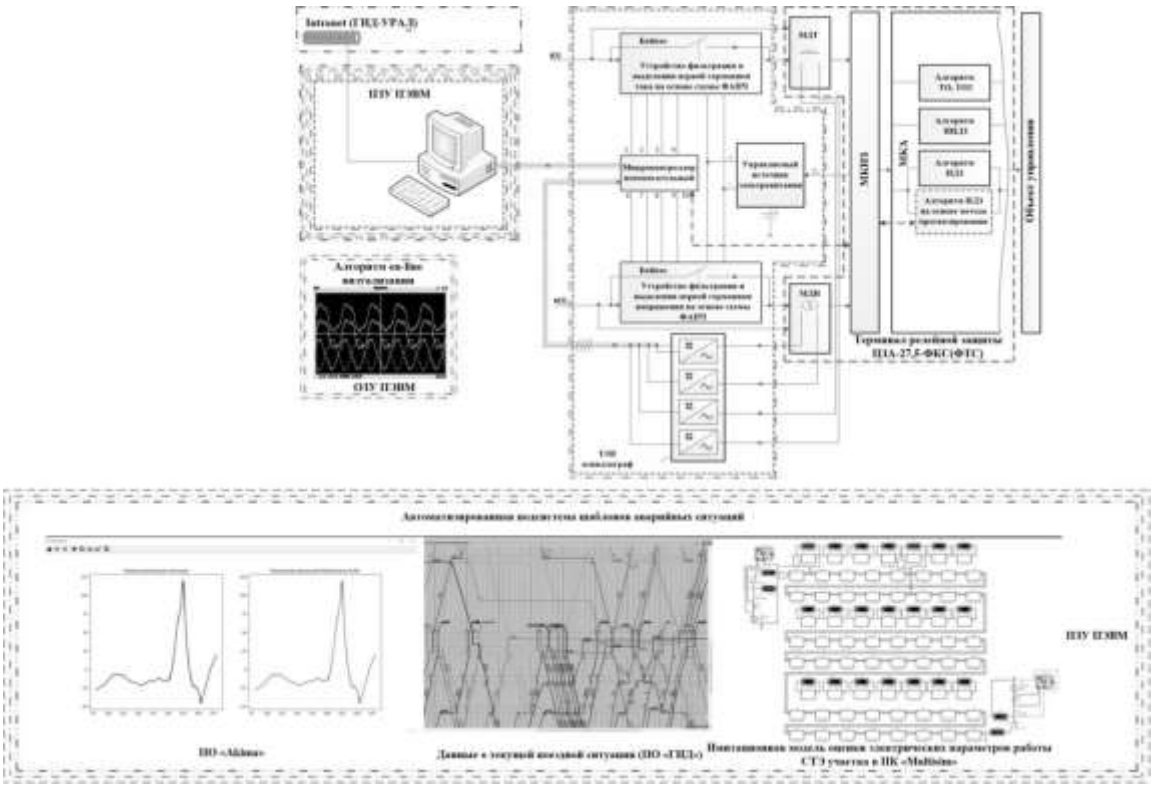


Рис. 6. Итоговая иерархическая структура схема АП МРЗ ФКС переменного тока с учетом усовершенствования подсистемы шаблонов аварийных ситуаций

Таким образом, реализованная автоматизированная подсистема, при ее интеграции с ПЭВМ дежурного персонала и сопряжении с эксплуатируемыми на данный момент устройствами микропроцессорной релейной защиты (при согласовании с заводом-изготовителем) сможет способствовать снижению числа аварийных и незапланированных отключений (до 10–15 %) с более точной селекцией причин, к ним приведших.

Библиографический список

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 15 декабря 2011 г. № 2718р «Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года». – Москва, 2011. – 97 с.: ил. – Текст : непосредственный.

2. ГОСТ Р 55105-2019. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем.

Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 24 с. – Текст : непосредственный.

3. Агафонов, А. И. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учебное пособие / А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, Н. Б. Джазовский. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва ; Вологда : Инфа-Инженерия, 2020. – 300 с.: ил., табл. – Текст : непосредственный.

4. Приказ Минтранса России № 330 от 02.12.2014 г. Свод правил «Тяговое электроснабжение железной дороги». – ОАО «РЖД». – 86 с. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ Р 57670-2017. Системы тягового электроснабжения железной дороги. Методика выбора основных параметров. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 52 с. – Текст : непосредственный.

6. Малунова, Д. А. Система взаимодействия и поддержки баз данных пользователей системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» / Д. А. Малунова, А. В. Забродин // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2019. – № 4(20). – С. 5–13. – Текст : непосредственный.

7. Режимные карты пропускной способности участков Забайкальской железной дороги. – Чита : ЗабНТЭ, 2025. – 16 с. – Текст : непосредственный.

8. Комплекс программ для расчётов систем тягового электроснабжения. Расчёты режимов нагрузки и пропускной способности системы 27,5 кВ. KA_PN. Руководство пользователя. – Москва : АО «ВНИИЖТ», 2018. – 22 с.: цв. ил. – Текст : непосредственный.

9. Цифровые технологии в релейной защите и автоматизации / Сборник статей. Выпуск I. – Чебоксары : РИЦ «СРЗАУ». – 2018. – 72 с. – Текст : непосредственный.

10. Востриков, М. В. Автоматизированная подсистема микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Максим Викторович Востриков, 2023. – 144 с. – Текст : непосредственный.

11. Морозов, Е. А. Разработка программного обеспечения для формирования базы аварийных шаблонов в составе автоматизированной подсистемы микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети / Е. А. Морозов, В. В. Фаренык, М. В. Востриков // Современные тенденции развития транспортной отрасли : материалы Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 15–16 февраля 2024 г. – Нижний Новгород : Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 343–351. – Текст : непосредственный.

12. Димов, А. В. Моделирование системы тягового электроснабжения переменного тока / А. В. Димов, К. В. Менакер, М. В. Востриков // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 3. – С. 5–11. – DOI 10.34649/AT.2024.3.3.002. – Текст : непосредственный.

13. Востриков, М. В. Автоматизация устройств релейной защиты на основе моделирования режимов системы тягового электроснабжения / М. В. Востриков, А. В. Димов, К. В. Менакер // Автоматика, связь, информатика. – 2026. – № 4. – С. 2–6. – DOI 10.62994/AT.2026.4.4.001. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Востриков Максим Викторович, к.т.н., доцент кафедры «ПСОД», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, aspirin1979@mail.ru ;

Кизима Иван Владимирович, диспетчер оперативно-диспетчерской группы Забайкальской дирекции по энергообеспечению – СП «Трансэнерго» – филиал ОАО РЖД, Забайкальский край, г. Чита, Россия, vancha-kizima@mail.ru.

Жигальцова А. С., Фролова О. В.

РАЗВИТИЕ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ. СДЕРЖИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ В ПРЕДЕЛАХ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Основной задачей повышения надежности железнодорожного пути является обеспечение равного ресурса его элементов, а также бесперебойного и безопасного пропуска поездов в условиях растущих объемов перевозок, текущего содержания пути и ремонтов инфраструктуры.

В настоящее время самым эффективным способом увеличения провозной способности является повышение массы грузового поезда, однако показатели допустимой массы грузового поезда снижаются по мере увеличения руководящего уклона.

Рост объёма грузоперевозок требует разработки новых конструктивно-технологических решений, которые повысят надёжность, устойчивость и долговечность путевых конструкций и позволят пропускать поезда установленной скорости.

Ключевые слова: тяжеловесное движение поездов, межпоездной интервал, система тягового электроснабжения.

Введение

Железнодорожный путь является ядром железнодорожного транспорта. Путевой комплекс – это более половины основных средств, около четверти всех расходов и примерно 20 % штата компании. На работу путевого хозяйства в значительной мере влияют: возрастающая грузонапряженность линии, повышенные осевые нагрузки, растущие скорости поездов; массовые перевозки угольных, рудных и других грузов, вызывающие интенсивное засорение балласта; суровый климат в большинстве регионов страны.

Тяжеловесное движение – технологический процесс организации движения грузовых поездов с массой состава 6300 тонн и более, осевая нагрузка вагонов, входящих в состав, 23,5; 25,0 тонн и выше. Тяжеловесной считается такая железная дорога: «…на которой выполняется как минимум два из следующих условий: на постоянной основе эксплуатируются маршруты или соединенные поезда массой не менее 8000 тонн брутто; осуществляются регулярные грузоперевозки с грузонапряженностью не менее 40 млн тонн брутто в год на линиях длиной не менее 150 км; регулярно эксплуатируется или планируется эксплуатировать подвижной состав с нагрузкой на ось 27 тонн и более». [1]

Количество поступающих поездов массой 7100 тонн на Дальневосточную дорогу с каждым годом растет. За период 2025 года зафиксировано 10931 поезд в год (это на 25 % выше, чем за аналогичный период 2024 года). Логичным этапом в развитии технологии тяжеловесных перевозок стало внедрение организации движения соединенных поездов массой 13,4 и 14,2 тысяч тонн, что позволяет использовать одну нитку графика двумя поездами.

В направлении Дальнего Востока за период 2024 года было отправлено 63,3 % (40,2 тысячи) груза в полувагонах повышенной грузоподъемности, из которых всего 15,3 тысячи следовали составами с массой около 7100 тонн к месту назначения.

Что же является лимитирующим фактором в вопросе развития тяжеловесного движения Восточного полигона?

Организация движения поездов на Восточном полигоне. Сдерживающие факторы развития тяжеловесного движения. Определение оптимального показателя массы поезда

Приоритетным направлением перевозок в системе железных дорог России остается маршрут Кузбасс – порты Дальнего Востока по экспор-

ту груза в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, особенно этот маршрут стал актуален после 2022 г., по причине серьезных геополитических разногласий со странами Евросоюза.

Дальневосточная железная дорога – важная связующая линия между центральной Россией и её восточными границами, играющая стратегическую роль в соединении крупных промышленных и экономических центров Сибири и Урала с более чем 20 крупными морскими портами.

На Востоке страны находится крупнейший транспортный узел России на Тихоокеанском побережье. В его состав входят 5 станций и 19 крупных грузополучателей (мощность переработки превышает 4415 вагонов в сутки). Порт «Восточный» занял третье место по грузообороту среди российских портов, достигнув в 2025 г. показателя в 84,7 миллиона тонн груза. [3]

Технология пропуска поездов к данному узлу осложнена наличием горно-перевального участка со сложным профилем пути, лимитирующего массу поездов свыше 6300 т и требующего на постоянной основе применение мероприятий по отцепке вагонов, размену ведущего локомотива на станциях, предшествующих данному участку.

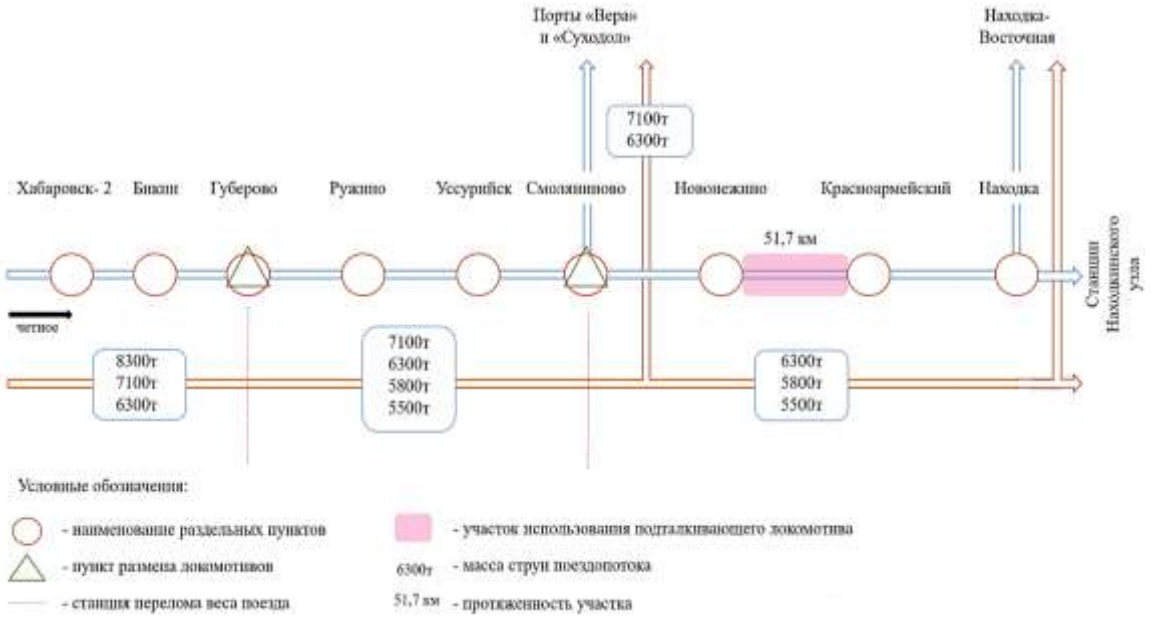


Рис. 1. Организация работы с грузовыми поездами в направлении транспортного узла Находка

Согласно статистическим данным 2025 г., ежесуточно отцепляется 132 вагона на промежуточных станциях для обеспечения выполнения технологии по пропуску поездов через данный перевал. Из них впоследствии формируется два дополнительных поезда.

Выполнение данных операций требует выделения дополнительных тяговых ресурсов, отвлечение работников локомотивного, вагонного хозяйства и маневровых средств на организацию данной технологии; использование ресурсов пропускной способности железнодорожных линий, снижение скорости движения поездов из-за необходимости приема поездов на боковые пути для выполнения технологических операций, а также создает дополнительные риски нарушения сроков доставки груза ввиду накопления вагонов на промежуточных станциях в ожидании формирования их в отдельные поезда.

Большая часть железных дорог России проектировалась по нормам начала – середины 20 века и не отвечает современным требованиям в отношении скоростей и массы подвижного состава. В 1937 г. было открыто движение от станции Смоляниново в сторону агломерации Находка, что способствовало развитию логистического коридора со странами Азии. Эксплуатационные характеристики железнодорожного транспорта России, на момент открытия линии характеризовались относительно небольшой грузонапряженностью, 4,3 тонно-километров на 1 км в год, в 2025 г. этот показатель достиг 30 млн тонно-километров на 1 км.

Геодезические работы на территории Приморского края сильно затруднены инженерно-геологическими условиями. Земляное полотно регулярно подвергается осадкам грунтов из-за резких сезонных и суточных температурных колебаний, обильных осадков и наводнений. Эти факторы не позволяют возводить стандартные инженерные насыпи для спрямления профиля сложного участка пути, требуется разработка новых конструктивных решений, минимизирующих деформации грунтовых оснований.

Еще одним сдерживающим фактором, ограничивающим развитие тяжеловесного движения в границах Восточного полигона, является уровень напряжения в контактной сети. Величина межпоездного интервала по условиям электроснабжения напрямую зависит от значения руководящего уклона. Вышеуказанный участок не соответствует категории особо грузонапряженной линии, расчетный уклон которого 20 ‰.

Сокращение интервала между поездами невозможно без увеличения мощностей тяговых подстанций. Так, на многих участках Дальневосточной дороги, установленный межпоездной интервал по условиям устройства электроснабжения варьируется от 10 до 20 минут для поездов массой 6300–7100 т, а для поездов массой свыше 7100, в т. ч. соединенных, этот показатель еще выше, а на некоторых участках вождение поездов массой свыше 7100 т невозможно, по причине инфраструктурных ограничений, описанных выше (см. Таблицу). [4]

Таблица

Фрагмент ведомости межпоездных интервалов по условиям автоблокировки и устройствам электроснабжения

Участок (межподстанционной зоны)	Расчётный подъем, ‰	Минимальный допустимый интервал по устройствам тягового электроснабжения, мин				
			4001–6300 т	6301–7100 т	7101–8300 т	8300–12600 т
А-Т	8,9	4001–6300 т	9	10	11	12
		6301–7100 т	10	10	12	13
		7101–8300 т	11	12	13	14
		8300–12600 т	12	13	14	15
И-В		4001–6300 т	8	9	9	10
		6301–7100 т	9	9	10	11
		7101–8300 т	9	10	10	12
		8300–12600 т	10	11	12	13
В-Х	9,3	4001–6300 т	9	9	10	10
		6301–7100 т	9	10	11	15
		7101–8300 т	10	11	12	15
		8300–12600 т	10	15	15	20
Х-К	10,7	4001–6300 т	8	9	10	12
		6301–7100 т	9	10	11	13
		7101–8300 т	10	11	12	15
		8300–12600 т	12	13	15	20
С-А	20,0	4001–6300 т	10	19	-	-
		6301–7100 т	19	20	-	-
		7101–8300 т	-	-	-	-
		8300–12600 т	-	-	-	-

Вывод

Анализ работы Восточного полигона показал, что технологические мероприятия по приведению массы поезда до допустимого значения для пропуска через перевал ведут к снижению эксплуатационных показателей пропускной и провозной способности, средней массы поезда; необходимости отвлечения дополнительных тяговых ресурсов, выделения дополнительного штата работников вагонного хозяйства и персонала дирекции управления движением, обеспечивающих работу по отцепке вагонов и формированию поездов.

Наличие участка с горно-перевальным профилем создает дополнительную нагрузку на объекты инфраструктуры и электроснабжения, требует увеличения межпоездного интервала, что так же в свою очередь влияет на пропускную и провозную способность линии.

Библиографический список

1. IHHA (www.ihha.net); International Railway Journal. – 2024. – № 1. – P. 14–16. – Текст : электронный.

2. Жигальцова, А. С. Спрямление профиля пути на горно-перевальном участке Дальневосточной железной дороги / А. С. Жигальцова, С. А. Кудрявцев, В. А. Эсаулов // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2025. – № 4(45). – С. 41–46. – Текст : электронный.

3. ИАА «ПортНьюс». – URL : https://portnews.ru/news/386844/ (дата обращения: 16.01.2026). – Текст : электронный.

4. Распоряжение ОАО «РЖД» ДВОСТ-484/пд от 14.01.2024. «Ведомость межпоездных интервалов по условиям автоблокировки и устройствам электроснабжения». – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Жигальцова Анна Сергеевна, аспирант кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения». Диспетчер поездной. Дальневосточная дирекция управления движением – структурное подразделение Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», г. Хабаровск, Российская Федерация. 8-914-209-94-65, zhigaltsova.anna@bk.ru, SPIN-код: 1527-9021;

Фролова Ольга Васильевна, аспирант кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения». Olgafrolova.1992@mail.ru, 8-914-771-70-34, SPIN-код: 7612-7785.

Зарецкий И. С.

ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ВИДЕОАНАЛИТИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

В работе рассматривается проблема повышения эффективности интеллектуальных систем видеоанализа на объектах железнодорожной инфраструктуры. Показано, что эволюционное совершенствование программной архитектуры на основе накопленных эксплуатационных данных позволяет существенно повысить производительность системы без закупки нового оборудования. Представлен кейс внедрения специализированной архитектуры распознавания вагонов, подтверждающий возможность снижения капитальных затрат (CAPEX) при масштабировании цифровых решений.

Ключевые слова: цифровая логистика, железнодорожный транспорт, видеоаналитика, бережливое производство, капитальные затраты, эксплуатационные данные, MLOps.

Цифровизация железнодорожного транспорта, включающая создание систем распознавания и фиксации номеров вагонов, фактически пребывающих на контролируемом участке пути, неизбежно сталкивается с существенными инфраструктурными ограничениями. Внедрение технологических решений, в рамках данного случая, осуществлялось в условиях географического и сетевого разделения объектов контроля, длительного жизненного цикла базовой инфраструктуры и высоких требований к непрерывности процесса фиксации. В этих условиях развитие систем видеоаналитики на периферийных устройствах (Edge-computing) часто сводится к наращиванию вычислительных мощностей для компенсации сложных условий эксплуатации, то есть замене самих устройств, либо переноса системы вычислений в центр обработки данных, что требует дополнительного предоставления каналов связи. Учитывая необходимость масштабирования цифровых решений на большое количество рубежей контроля, частая аппаратная модернизация становится экономически нецелесообразной. Современные технологические тенденции [1] и подходы к управлению жизненным циклом ИИ [2] требуют поиска ресурсоэффективных альтернатив.

Целью работы является демонстрация возможности повышения качества работы систем видеоаналитики на железнодорожном транспорте без увеличения капитальных затрат за счёт эволюционного развития

программной архитектуры и data-driven подходов. Объектом исследования являлась система распознавания номеров пассажирских вагонов, функционирующая в условиях существенных ограничений вычислительных ресурсов. В отличие от лабораторных тестов, подразумевающих идеальные условия, при «полевой» эксплуатации нейросетевая модель сталкивается с реальной спецификой: сложными ракурсами, загрязнением и затенением объектов и наличием посторонних надписей на вагонах (технологические пометки, граффити). Методологическую основу составляют принципы бережливого производства [3], концепция MLOps [4] и современные подходы к управлению проектами [5], ориентированные на извлечение ценности из данных. На первом этапе внедрения была запущена универсальная, «тяжелая» модель, обеспечивающая обработку не более 10 кадров в секунду. Высокая чувствительность алгоритма приводила к 15,3 % ложных срабатываний, генерируя дополнительную нагрузку на логику системы.

Отметим также, что «полевая» эксплуатация системы подразумевает работу в реальных условиях, а значит производимые в процессе обработки видео данные необходимы для работы других систем, причём необходимы круглосуточно. Допущение большого процента брака (ложных срабатываний) в этих условиях могло негативно влиять на качество данных, поступающих в корпоративный контур управления. При этом пропуск номерного знака в подобных системах (отсутствие фиксации) является значительно более серьёзной проблемой.

С учётом данной специфики на этапе эксплуатации было принято решение снизить порог достоверности распознавания, обеспечив максимальную полноту фиксации номерных знаков, сохранять все ложные сработки, но не отправлять их в вышестоящую систему. Это привело к тому, что наряду с корректными сработками система генерировала ложные в большом количестве, оставалось только отличить одни от других.

Так как работа велась с номерами железнодорожных вагонов, был использован способ расчета контрольного знака по модулю 10 [6], который практически полностью смог отсеять ошибки распознавания из конечного потока данных.

Для примера приведём расчёт контрольной цифры для номера 01305804, изображенного на Рисунке.

Рассчитаем его восьмой (контрольный) знак по модулю 10, используя первые семь цифр – 0130580. Сначала умножим цифры, стоящие на нечетных позициях, на 2, а на четных на 1. Получаем следующие результаты: 0×2=0, 1×1=1, 3×2=6, 0×1=0, 5×2=10, 8×1=8, 0×2=0. Затем выполняем посимвольное сложение всех цифр из полученных произведе-

ний (обратите внимание, что двузначное число 10 разбивается на цифры 1 и 0): 0 + 1 + 6 + 0 + 1 + 0 + 8 + 0 = 16. Определим контрольный знак. Для этого нужно найти цифру, дополняющую итоговую сумму до ближайшего круглого десятка, в данном случае до 20. Вычислим разность: 20 - 16 = 4. Полученная расчетная цифра совпадает с восьмым знаком исходного номера, соответственно номер провалидирован.



Рисунок. Номер пассажирского вагона

Использование отраслевой специфики объекта распознавания позволило исключить многие ошибки интерпретации символов из итогового потока данных и обеспечить требуемый уровень надёжности системы (минимизировать пропуски). Это позволило сформировать значительный массив примеров ошибочных срабатываний без ухудшения качества данных, используемых в производственных процессах (верхнеуровневой системы).

Результаты исследования. Так как на предприятии-разработчике программного продукта активно развивается аналитическая культура [7], высокий уровень ошибок ранней версии не был признан дефектом внедрения, а сформировал массив «сложных негативных примеров», использованный для обучения новой архитектуры (более специализированной под конкретные условия). Разработанная на этой архитектуре легковесная модель, учитывающая особенности маркировки пассажирских вагонов и их геометрические характеристики, позволила отсечь шум и ложные срабатывания, при этом снизить нагрузку на вычислительные ресурсы.

Как ранее было подробно рассмотрено [8], переход к новой архитектуре обеспечил уменьшение потребления вычислительных ресурсов на прежней аппаратной платформе, что позволило повысить производительность системы в 2,5 раза (с 10 до 25 кадров в секунду) и при скоро-

сти поезда 60 км/ч увеличить получение более 15 кадров хорошо читаемых кадров каждого вагона. Доля ложных срабатываний с новой архитектурой снизилась до 0,9 %. Помимо выигрыша по ресурсам и точности удалось сократить время ручной валидации, т. к. процент корректно сопоставленных данных на тестах значительно вырос.

Полученный эффект может иметь особое значение для железнодорожной отрасли, поскольку масштабирование системы видеоанализа осуществляется одновременно на множестве объектов инфраструктуры. При этом использование edge-устройств, с невысокой стоимостью (в сравнении с центрами обработки данных) позволяет в короткие сроки развернуть систему учёта подвижного состава на различных объектах (депо, перегоны) в сравнительно короткие сроки. В таких условиях отказ от модернизации аппаратной платформы и выбор в пользу оптимизации программного обеспечения позволяет существенно снизить совокупные затраты на внедрение цифровых решений и ускорить их тиражирование на протяжении всей дорожной сети.

Выводы. Методология гибридного управления разработкой интеллектуального продукта [9] в совокупности с эволюционным совершенствованием программной архитектуры под специфику «полевой» эксплуатации позволяют преодолеть прямую зависимость между ростом потребительной ценности продукта и необходимостью экстенсивных капитальных инвестиций в инфраструктуру. Полученные результаты позволяют рассматривать ошибки эксплуатации ранних версий ИИ-систем как источник стратегически значимых данных, обеспечивающих последующее повышение качества и эффективности цифрового решения. В результате данные эксплуатации являются самостоятельным управленческим активом, обеспечивающим устойчивое развитие цифровых инноваций.

Библиографический список

1. Денисов, С. Г. Технологические тенденции, определяющие будущее управления жизненным циклом продукции в условиях цифровой трансформации / С. Г. Денисов // Бюллетень инновационных технологий. – 2024. – Т. 8, № 2 (30). – С. 10–13. – EDN QXHDPO. – Текст : непосредственный.

2. Вертакова, Ю. В. Особенности структуры жизненного цикла цифровых инноваций, основанных на использовании искусственного интеллекта / Ю. В. Вертакова, Ю. В. Шульгина, Б. Ш. Собиров // π-Economy. – 2025. – Т. 18, № 5. – С. 81–99. – DOI: 10.18721/JE.18506. – EDN IBSLRM. – Текст : непосредственный.

3. Kaswan, M. S. Green Lean Six Sigma for sustainable development: Integration and framework / M. S.Kaswan, R. Rathi // Environmental Impact Assessment Review. – 2020. – Vol. 83. – Art. 106396. – DOI: 10.1016/j.eiar.2020.106396. – Текст : непосредственный.

4. Chakraborty, A. Machine Learning Operations: A Mapping Study / A. Chakraborty, S. Das, K. Gary // Software Engineering Research and Practice and e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government / eds. H. R. Arabnia, L. Deligiannidis. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2025. – P. 3–21. – DOI: 10.1007/978-3-031-86644-9_1. – Текст : непосредственный.

5. Зарецкий, И. С. Совершенствование управления R&D-проектами в организациях-разработчиках интеллектуального программного обеспечения / И. С. Зарецкий, Е. Н. Шереметьева // Наука XXI века: актуальные направления развития. – 2025. – № 2-1. – С. 277–280. – EDN EKHIAR. – Текст : непосредственный.

6. Информационные технологии на магистральном транспорте : методические указания к выполнению практических работ для студентов специальности 190401.65 очной и заочной форм обучения / сост. О. В. Москвичев, А. В. Эрлих, С. Н. Шишкина. – Самара : СамГУПС, 2014. – 44 с. – Текст : непосредственный.

7. Szukits, Á. Towards data-driven decision making: the role of analytical culture and centralization efforts / Á. Szukits, P. Móricz // Review of Managerial Science. – 2023. – DOI: 10.1007/s11846-023-00694-1. – Текст : непосредственный.

8. Шереметьева, Е. Н. Стратегическое обеспечение управления жизненным циклом интеллектуального программного продукта / Е. Н. Шереметьева, И. С. Зарецкий // Региональная экономика: теория и практика. – 2026. – № 5. – С. 142–158. – DOI: 10.24891/oteqpq EDN: OTEQPQ. – Текст : непосредственный.

9. Зарецкий, И. С. Гибридная модель управления разработкой интеллектуального программного обеспечения / И. С. Зарецкий, Е. Н. Шереметьева // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации. – 2025. – С. 467–470. – EDN YZZRWW. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Зарецкий Илья Сергеевич, соискатель института менеджмента, ФГАОУ ВО «Самарский государственный экономический университет», г. Самара, Россия, zaretskiy@bk.ru.

Ильиных В. А.

ОСНОВНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОДУЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

Одной из важных научно-технических задач является разработка высокоэффективного и качественного оборудования. Показателем качества металлорежущего оборудования является обеспечение точности обрабатываемых изделий. Как известно из служебного назначения станка или машины вытекает служебное назначение отдельных узлов и сборочных единиц. Поэтому прогнозирование и конструкторско-технологическое обеспечение качества сборочных единиц и деталей путем синтеза новых геометрических форм является первостепенной задачей при совершенствовании известных и инновационных конструкций станков, инструмента и измерительных приборов.

Ключевые слова: инструментальная система, сборный и цельный инструмент, ремонтный комплект, шпиндель, устройства крепления, эталонные и базовые оправки, микропроцессорные устройства управления, технологические комплекты, станки.

В настоящее время определились основные направления в исследовании точности обработки изделий: геометрическое; жесткостное и комплексное. Задачи исследования комплексной точности привело к развитию аналитических методов, таких как метод координатных систем с деформируемыми связями Б. М. Базрова [1]. При этом основным недостатком является не учет всего комплекса входных, управляющих и выходных факторов системы.

Вопросам, которые связаны с исследованием точности и выявлению физической сущности процесса ее достижения посвящены работы Б. С. Балакшина, Д. Н. Решетова, Ю. М. Соломенцева, Б. М. Базрова, И. М. Колесова, В. Э. Пуша, О. И. Аверьянова, В. А. Гречишникова, М. Г. Косова, В. А. Тимирязева, А. И. Тимченко, В. В. Бушуева, Ю. И. Кузнецова, А. Р. Маслова, С. Н. Григорьева, К. А. Украженко, В. В. Молодцова, А. Г. Схиртладзе и многих других. Названными учеными разработаны основы современной теории точности и надежности станков, машин и инструмента [1, 2].

Одним из важных научных направлений является совершенствование геометрических форм деталей устройств соединений, разработка методов их расчета, компьютерная симуляция процессов соединения [3].

Различные виды производства изделий (единичное, мелкосерийное, серийное) в рамках одного предприятия ставят ряд задач по использованию высокоточных металлорежущих станков, обладающих высокой адаптацией к реальных условиям производственного процесса, именно: изменению габаритов, формы и типа размера выпускаемой партии деталей. Многоцелевые станки (МС) с системой управления на базе микропроцессорных устройств используют магазины с комплектом инструментов, которые выполнены на основе соединений унифицированных модулей разного функционального назначения и различных типоразмеров [4–10].

Оснащенные специальными устройствами загрузки и разгрузки на основе манипуляторов модульный инструмент многоразово транспортируется и устанавливаются в шпиндель станка. Организованная смена баз в соединении шпиндель – оправка существенно влияет на показатели качества станка и их отклонения, в частности на его точность и жесткость [5, 6, 9, 10, 11, 12].

По условию эксплуатации станка моментопередающее коническое соединение многоразово собирается и разбирается в процессе металлообработки детали.

В связи с возрастающими требованиями к повышению точности станков в условиях обеспечения технологической независимости (жесткой конкуренции на мировом рынке) к качеству МС предъявляются высокие требования, которые во многом зависят от надежной работы шпинделей и вспомогательного инструмента. При интенсификации ремонтного производства в современных условиях, обеспечение безотказной работы с учетом старения технологической оснастки разработка и внедрение новых инновационных решений приобрело особую значимость.

Анализ работ Решетова Д. Н., Левиной З. М., Каминской В. В., Рыжова Э. В., Суслова А. Г., Шевелевой Г. И., Укроженко К. А. показал, что точность и производительность МС определяется податливостью основных узлов и сборочных единиц системы: станок, приспособление, инструмент, деталь. Погрешность изготовления детали при этом определяется в основном податливостью соединений (стыков) и может достигать 80 % [1, 2].

Базовые оправки с конусностью SK 7:24 до 1998 г. являлись самыми распространенными в наборе оправок вспомогательного модульного и цельного инструмента. Однако, в связи с увеличением скоростей обработки и растущими требованиями к точности металлорежущих станков изменились подходы к проектированию конструкций устройств крепления вспомогательного инструмента в ШУ. В ряде европейских стран

широкое применение получили базовые оправки типа HSK-A63, которые успешно применяю в интервале оборотов шпинделя от 10000 до 30000, а при 70000 об/мин оправки типа HSK – C, E, F. Однако, с увеличением скоростей вращения шпинделя при эксплуатации станка соединения типа HSK теряют свою работоспособность.

В исследованиях В. В. Молодцова установлено, что для соединений типа HSK-A40 конический стык полностью раскрывается при n_{max} 46000 об/мин. Для соединений типа HSK-A63 стык раскрывается при 27000 и соединений типа HSK-A100 при n_{max} 15500 об/мин для ослабленного соединения. Контакт сохраняется только между торцами оправки и шпинделя. Плотное соединение гарантировано не раскрывается в указанном «*OTT Jacob*» диапозоне скоростей вращения, однако при этом имеет отсутствие контакта по торцам. Частоту вращения, при которой происходит раскрытие стыка можно считать частотой нарушающей нормальное закрепление оправки в шпинделе. При этом происходит неорганизованная смена баз, износ, потеря точности и разрушение хвостовиков HSK конического соединения шпиндельного узла.

Важным является решение задач выбора конструкции и расчета значения силы закрепления базовой оправки, а также способа фиксации оправки в осевом направлении в шпинделе станка, т. к. при эксплуатации зачастую вспомогательный инструмент при передаче нагрузки теряет неподвижность. Это приводит к неорганизованной смене баз в коническом соединении и потере точности положения вспомогательного инструмента.

Тенденции развития и совершенствования конструкций инструментальных систем (ИС) МС включают совершенствование конструкций различных типов ИС с целью улучшения их технологических (точности, повторяемости, жесткости) и эксплуатационных характеристик (взаимозаменяемости, быстро сменности, долговечности).

Наибольший интерес представляет совершенствование подсистемы вспомогательного инструмента сборной и цельной конструкций, многоцелевых станков представленных на рис. 1.

Согласно ГОСТ 25548-82 на конусы и конические соединения предусматривает четыре способа фиксации деталей в осевом направлении, что определяет характер конического соединения или посадку конического соединения. Это определяет схему базирования соединяемых деталей и точность фактического положения при закреплении.

Предварительный анализ конструктивных решений широкого спектра инструментальных оправок отечественного и зарубежного производства определили стратегию достижения показателей качества моменто-

передающих конических соединений шпиндельных узлов МС. Разработка и совершенствование геометрических форм присоединительных поверхностей базовых и дополнительных оправок значительно увеличат точность и жесткость соединений устройств в условиях многоразового базирования и закрепления технологических комплектов [13].



Рис. 1. Примеры вспомогательного инструмента типа SK, BT, DBT, HSK



Рис. 2. Примеры конструкций инструментальных оправок типа PSK

Задача повышения качества конических разъемных соединений в шпиндельных узлах решена путем разработки новых технических решений [14, 15]. Замена широко применяемых конических разъемных со-

единений типа SK, BT (DBT), HSK, которые служат для непосредственного крепления базовых оправок вспомогательного инструмента в шпинделе станка на инновационные конструкции соединений, в частности на разъемные конические фасонные соединения типа Р3 и PSK (*Coromant Capto*) разной конусности (рис. 2).

Отличительной особенностью при решении задачи является: учет многоразовой сборки-разборки деталей моментопередающего соединения Р3 ШУ при смене технологических комплектов инструмента

Как следует из работ Соломенцева Ю. М., Чарнко Д. В., Тимченко А. И., F. Danzera, R. Musul, A. Frank из огромного спектра профильных соединений с равноосным и криволинейным контуром лишь немногие конструкции применяются в металлорежущих станках. Примерами их использования являются коробки скоростей и гитар, механизмы поперечной подачи, делительные механизмы поворотных столов, хвостовики режущего инструмента.

Совершенствование конструкций шпинделей и оправок, повышение их качества на основе применения инновационных конических профильных соединений с равноосным контуром, а также систем инструмента является перспективной научно-практической задачей отечественного машиностроения.

Выводы

1. Разъемные неподвижные конические профильные соединения с равноосным контуром предназначенные для крепления вспомогательного сборного и цельного инструмента в шпиндельных узлах многоцелевых станков остаются перспективными и мало исследованными.

2. Наибольший интерес представляют конические фасонные соединения типа Р3 конусностью 1:10 как имеющие высокую поперечную и окружную жесткость по сравнению с соединением типа HSK, SK, BT и DBT.

Сведения об авторе:

Ильиных Виктор Анатольевич, д.т.н., профессор кафедры «Прикладная механика и математика», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, ilinykh.viktor5@mail.ru.

Ильиных В. А., Белкина О. С., Непомнящих Е. В.

РАСЧЁТ РАСПОРНЫХ СИЛ В СЕМИГРАННЫХ ПРОФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

При проектировании инновационных разъемных семигранных профильных соединений с равноосным контуром, а также анализе процессов сборки соединения в настоящее время отсутствуют результаты аналитических и экспериментальных исследований многогранных профильных соединений типа РК-7. Не разработана обоснованная методика расчета и конструирования, технология изготовления многогранных профильных соединений. Опираясь на известные преимущества ранее исследованных профильных соединений типа РК-3 и РК-5 с числом граней три и пять, а также общие подходы расчета, рассматривается возможность развития методов проектирования профильных соединений, с числом граней равным семи.

Поставлены основные задачи, входящие в разработку методики расчета и конструирования моментопередающих соединений на основе равноосной кривой с количеством граней равным семи на основе известных решений.

Ключевые слова: профильное соединение, профильный вал, профильное отверстие, количество граней, распорные силы, коэффициент пропорциональности, распорные силы, посадки.

Профильные соединения с равноосным контуром находят все более широкую интеграцию в современные машины, металлорежущие станки, технологическое оборудование отечественного машиностроения, а также механизмы железнодорожного транспорта. Поэтому актуальными вопросами остаются совершенствование процессов изготовления и проектирования рациональных форм соединений с количеством граней равным семи предназначенных для передачи крутящих моментов (рис. 1).

Для решения задачи определения распорных (радиальных) сил, возникающих по граням профильного соединения от действия крутящего момента, примем некоторые допущения, используемые в работах [1–4, 7]. Детали соединения вал и втулка имеют идеальную форму, т. е. отклонение формы и шероховатость поверхности не учитывается. Взаимодействие контактных поверхностей деталей профильного соединения происходит в условиях отсутствия смазочного материала. Задача решается в плоской постановке в статике.

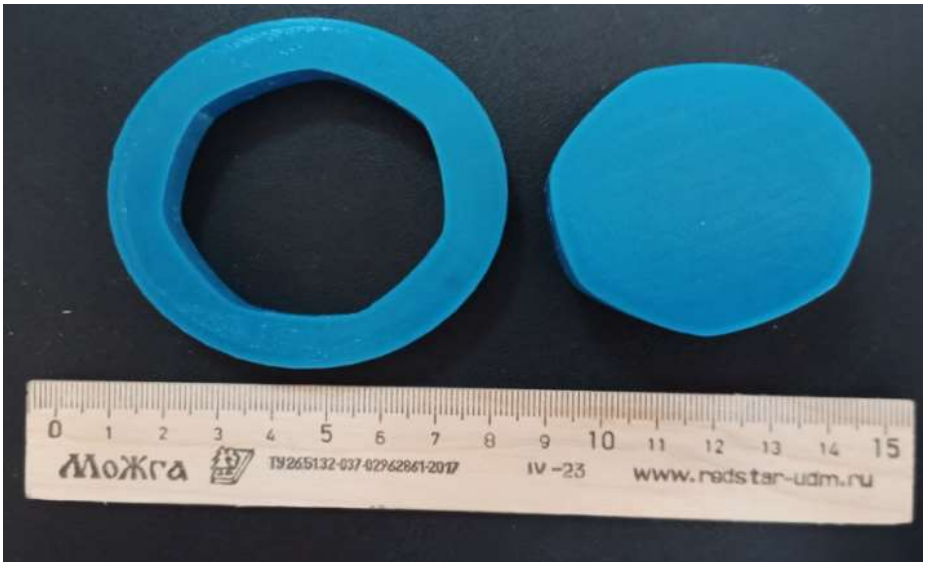


Рис. 1. Модели деталей профильного соединения вала и ступицы с равноосным контуром с числом граней семь

Составим уравнения равновесия втулки с профильным отверстием с числом граней равным пяти, используя расчетную схему (рис. 2).

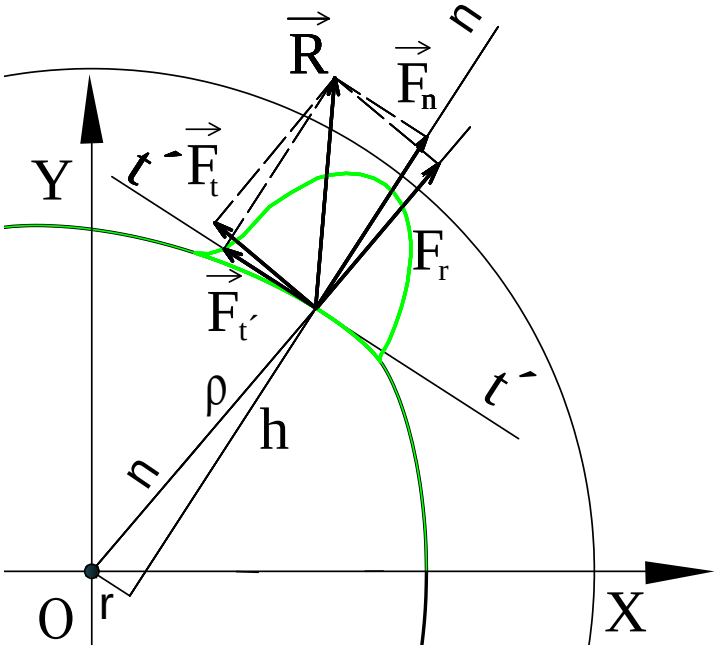


Рис. 2. Расчетная схема нагружения зоны контакта профильного отверстия втулки:

$\vec{R}$– равнодействующая сила на поверхности контакта;

$\overrightarrow{F_r}$– сила, направленная вдоль радиуса ρ (радиальная сила);

$t' - t'$ – касательная к равноосной кривой в точке контакта.

Величину крутящего момента определяют по формуле вида:

$$\begin{cases} M_{\text{кр}} = 7 \cdot F_t \cdot \rho\,, \\ M_{\text{кр}} = 7 \cdot (F_n \cdot r + F_{t'} \cdot \rho \cdot sinarccos\dfrac{r}{\rho}), \end{cases} \quad (1)$$

где F_t – окружная сила,

ρ – радиус-вектор в точке контакта профильного вала,

F_n – равнодействующая сила от действия нормальных нагрузок,

$F_{t'}$ – равнодействующая сила от действия тангенциальных нагрузок,

r – плечо от действия силы F_n.

Для определения F_n воспользуемся зависимостью вида [5]:

$$f^* = \frac{F_{t'}}{F_n}, \quad (2)$$

где f^* – коэффициент пропорциональности.

Среднее значение коэффициента пропорциональности можно взять из рекомендаций работ [1, 5, 6].

Или определить из выражения [5] в зависимости от типа посадки с зазором или натягом в РК-5 профильном соединении из уравнения вида:

$$f^* = \left(\frac{F_{t'}}{F_n} - r\right) \cdot \frac{1}{\rho \cdot sinarcos\dfrac{r}{\rho}}, \quad (3)$$

Таким образом, можно определить значения f^* в зависимости от зазора в профильном соединении типа РК-7 для рекомендуемых типов посадок $\frac{H8}{h8}, \frac{H7}{g6}, \frac{H7}{f7}, \frac{H7}{e8}$.

Подставим в уравнения системы (1) зависимость $F_{t'} = f^* \cdot F_n$ и получим:

$$\begin{aligned} M_{\text{кр}} = 7 \cdot (F_n \cdot r + \cdot f^* \cdot \rho \cdot sinarccos\frac{r}{\rho}) \\ = 7 \cdot F_n \cdot (r + f^* \cdot \rho \cdot sinarccos\frac{r}{\rho}). \end{aligned} \quad (4)$$

Откуда

$$F_n = \frac{M_{\text{кр}}}{7 \cdot (r + f^* \cdot \rho \cdot sinarccos\dfrac{r}{\rho})}. \quad (5)$$

Поскольку квадрат равнодействующей силы на поверхности контакта (зоны) равен:

$R^2 = {F_n}^2 + {F_{t'}}^2$, то $R = \sqrt{{F_n}^2 + {F_{t'}}^2}$ или

$$R = \sqrt{{F_n}^2 + (f^* \cdot F_n)^2}. \quad (6)$$

Используем зависимость вида:

$$R = \sqrt{{F_r}^2 + {F_t}^2}, \quad (7)$$

Приравняем правые части уравнений (6) и (7) и получим:

$$\sqrt{{F_n}^2 + (f^* \cdot F_n)^2} = \sqrt{{F_r}^2 + {F_t}^2}. \quad (8)$$

или ${F_n}^2 + f^{*2} \cdot {F_n}^2 = {F_r}^2 + {F_t}^2$.

Следовательно, сила, направленная вдоль радиуса ρ (радиальная или распорная) равна:

${F_r}^2 = {F_n}^2 + f^{*2} \cdot {F_n}^2 - {F_t}^2$ или

$$F_r = \sqrt{{F_n}^2 + f^{*2} \cdot {F_n}^2 - {F_t}^2}. \quad (9)$$

Определим величину окружной силы из уравнения (1):

$$F_t = \frac{M_{\text{кр}}}{7 \cdot \rho}. \quad (10)$$

Подставим зависимости (5) и (10) в уравнение (9). Тогда распорная сила равна:

$$F_r = \sqrt{(1 + f^*) \cdot \frac{{M_{\text{кр}}}^2}{7^2 \cdot \left(r + f^* \cdot \rho \cdot sinarccos\frac{r}{\rho}\right)^2} - \frac{{M_{\text{кр}}}^2}{7^2 \cdot \rho^2}} \quad (11)$$

Преобразуем данное уравнение, тогда распорная сила равна:

$$F_r = \sqrt{\frac{M_{\text{кр}}{}^2}{7^2} \cdot \frac{1 + f^*}{\left(r + f^* \cdot \rho \cdot sinarccos\frac{r}{\rho}\right)^2} - \frac{M_{\text{кр}}{}^2}{7^2} \cdot \frac{1}{\rho^2}} \qquad (12)$$

или

$$F_r = \frac{M_{\text{кр}}}{7} \sqrt{\cdot \frac{1 + f^*}{\left(r + f^* \cdot \rho \cdot sinarccos\frac{r}{\rho}\right)^2} - \frac{1}{\rho^2}}. \qquad (13)$$

Используя полученное уравнение (13) проведен расчет радиальных (распорных) сил для РК-7 профильных соединений с зазором по посадке $\frac{H7}{e8}$. Расчетные значений радиальных сил определены с использованием методики разработанной Боровича Л. С. для трехгранного профильного соединения [1]. Расчет значений распорных сил проведен с учетом влияния сопряженной детали (профильного вала).

Зависимость радиальной (распорной) силы, возникающей в профильных соединениях типа РК-5 и РК-7 от действия крутящего момента в статике, представлена на рис. 3.

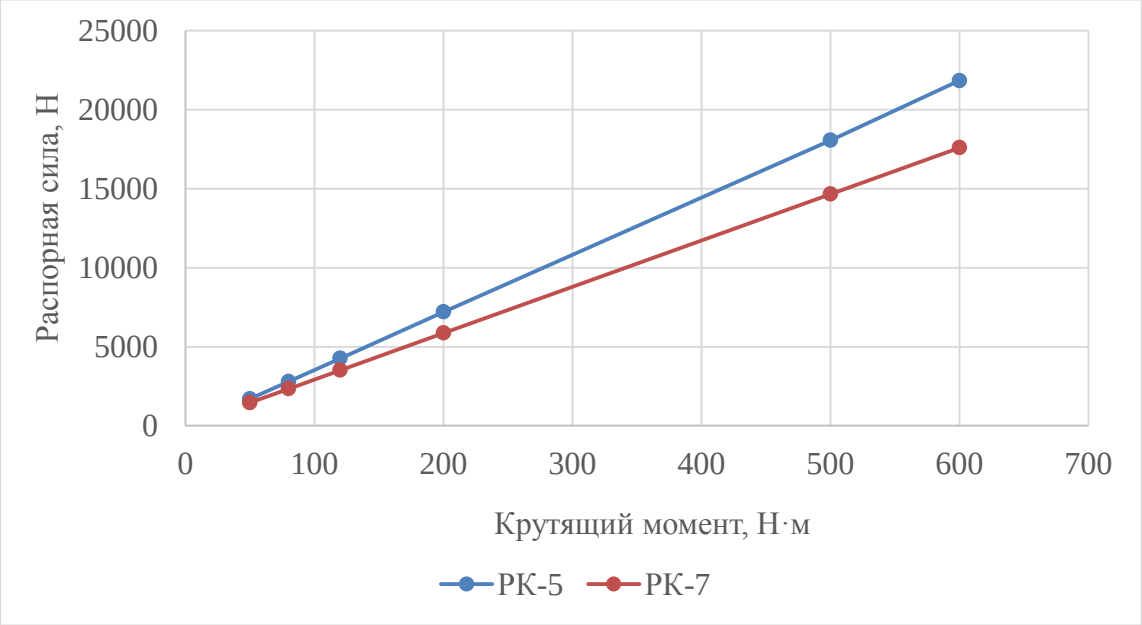


Рис. 3. Зависимость распорной силы от крутящего момента

При передаче крутящего момента от 50 Н·м до 600 Н·м значения распорных (радиальных) сил в РК-7 профильном соединении в сравнении с РК-5 профильным соединением уменьшаются от 14 до 19 %.

Выводы

1. Увеличение числа граней в профильном соединении с равноосным контуром до семи позволяет более равномерно распределить нагрузку по граням и уменьшить значения распорных сил до 19 %.

2. Уменьшение значений распорных сил позволяет уменьшить значения радиальных биений в соединениях типа вал – ступица при передаче крутящего момента.

Библиографический список

1. Борович, Л. С. Бесшпоночное соединение деталей машин / Л. С. Борович. – Москва : Машгиз, 1957. – 131 с. – Текст : непосредственный.

2. Базров, Б. М. Схемы базирования и закрепления предмета в самоцентрирующих механизмах комплектом скрытых баз / Б. М. Базров, М. Н. Ерофеев, М. Л. Хейфец, В. Л. Гуревич // Проблемы машиностроения и автоматизации. – Москва, 2024. – № 2. – С. 4–11. – Текст : непосредственный.

3. Линейцев, В. Ю. Контактная прочность, жесткость и точность разъемных неподвижных конических соединений в инструментальных системах : дис. … канд. техн. наук: 01.02.06 / Владимир Юрьевич Линейцев. – Иркутск, 2006. – 184 с. – Текст : непосредственный.

4. Вартанов, М. В. Распознавание состояния контакта нежестких цилиндрических деталей при роботизированной сборке на основе метода опорных векторов / М. В. Вартанов, В. Л. Нгуен // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2024. – № 1. – С. 3–10. – Текст : непосредственный.

5. Ильиных, В. А. Расчет и выбор конструктивных параметров профильных соединений с равноосным контуром : дис. … канд. техн. наук: 05.02.02 / Виктор Анатольевич Ильиных. – Москва : МВТУ, 1987. – 285 с. – Текст : непосредственный.

6. Стрихарь, М. В. Разработка математической модели упругого тела описанного замкнутой кривой с равноосным контуром с произвольным количеством граней / М. В. Стрихарь, В. А. Ильиных, Е. В. Непомнящих // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 6. – С. 205–211. – Текст : непосредственный.

7. Ильиных, В. А. Самоцентрирование деталей разъемных пятигранных профильных соединений с равноосным контуром при сопряжении / В. А. Ильиных, Е. В. Непомнящих, В. Ю. Линейцев, О. А. Баландин // В сборнике: Современные технологии сборки. Доклады IX Международного научно-технического семинара. – Москва, 2025. – С. 6–14. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Ильиных Виктор Анатольевич, д.т.н., профессор кафедры «Прикладная механика и математика», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, ilinykh.viktor5@mail.ru ;

Белкина Ольга Станиславовна, к.т.н., доцент кафедры «Прикладная механика и математика», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, miss.belkio@mail.ru ;

Непомнящих Евгений Владимирович, старший преподаватель кафедры «Строительство железных дорог», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, nepom84@mail.ru.

Ковригина И. В., Большаков Р. С.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Рассматриваются особенности развития транспортного образования в контексте изменения качества полученных выпускниками знаний с учётом современных тенденций в области подготовки кадров.

Оценивается влияние существующего тренда к снижению качества транспортного образования для определения дальнейших перспектив стабильной работы транспортной отрасли.

Предложен подход к прогнозированию изменения уровня знаний выпускаемых специалистов, основанный на анализе статических параметров и определении закона распределения случайной величины.

Представлены графики огивы Гальтона и распределения случайной величины рассматриваемых статических данных.

Ключевые слова: транспортное образование, уровень подготовки кадров, высшая школа.

В настоящее время ощущается острая нехватка квалифицированных специалистов транспортной отрасли, в частности, на предприятиях железнодорожного транспорта [1–3].

Необходимо отметить и то, что и уровень выпускников транспортных высших учебных заведений неуклонно снижается. Такая тенденция является крайне негативной, так как инфраструктура железнодорожного транспорта сильно загружена [4–7].

В этой связи необходимы поиск и разработка способов и средств оценка и контроля как качества образования, так и уровень знаний действующих сотрудников [8–10].

В предлагаемом докладе рассматриваются тенденции развития высшего образования транспортной направленности.

Исходя из проведенного анализа на основании полученных данных [6], можно отметить, что подготовка квалифицированных рабочих, служащих имеет значительную тенденцию к снижению [7] (см. рис. 1).

Введение ЕГЭ усложнило поступление в высшие учебные заведения будущих абитуриентов, что также оказало влияние на дефицит квалифицированных специалистов транспортной отрасли [12].

В связи с реформированием железнодорожного транспорта [8], созданным в 2003 г. акционерного общества ОАО «РЖД» вместо МПС, существенно изменилось и вагонное хозяйство. Вместо вертикали – МПС (Департамент вагонного хозяйства – железная дорога (служба вагонного хозяйства) – отделение дороги (отдел вагонного хозяйства) – предприятие вагонного депо) появились дирекции.

Если при МПС весь вагонный парк принадлежал МПС, т. е. государству, то в настоящее время ОАО «РЖД» принадлежит только около 5,3 % (6,6 тыс. вагонов) парка вагонов, только для своей хозяйственной деятельности, а остальной парк находится в собственности компании. В связи с этим вагонные депо поделены на ремонтные и эксплуатационные предприятия. Поэтому специалисты вагонного хозяйства разделены: одни работают в ремонтных предприятиях, другие – в эксплуатационных, естественно квалификация по роду своей работы падает, так как, во времена МПС вагонные депо занимались вопросами ремонта и эксплуатации вагонного парка.

Учебные заведения, занимающиеся подготовкой кадров для транспортной отрасли, должны готовить специалистов широкого профиля. Учитывая то, что выпускники могут работать на ремонтных или эксплу-

атационных предприятиях, необходимо обеспечить подготовку таких специалистов, несмотря на сокращение учебных часов в транспортных вузах [9].

Для оценки уровня знаний работников железнодорожного транспорта в работе также проведён анализ уровня профессиональной подготовки в зависимости от занимаемой должности и стажа работы. Анализ рассматриваемой диаграммы показывает повышение уровня знаний в период от принятия сотрудника на работу и до 15 лет рабочего стажа. В дальнейшем уровень знаний снижается, что говорит о том, что достижение определённого уровня квалификации инициирует веру в незыблемость своих знаний, что делает повышение их уровня малозначимым для работников [10–12]. Следующим шагом является построение диаграммы огивы Гальтона для определения закона распределения случайной величины (рис. 1).

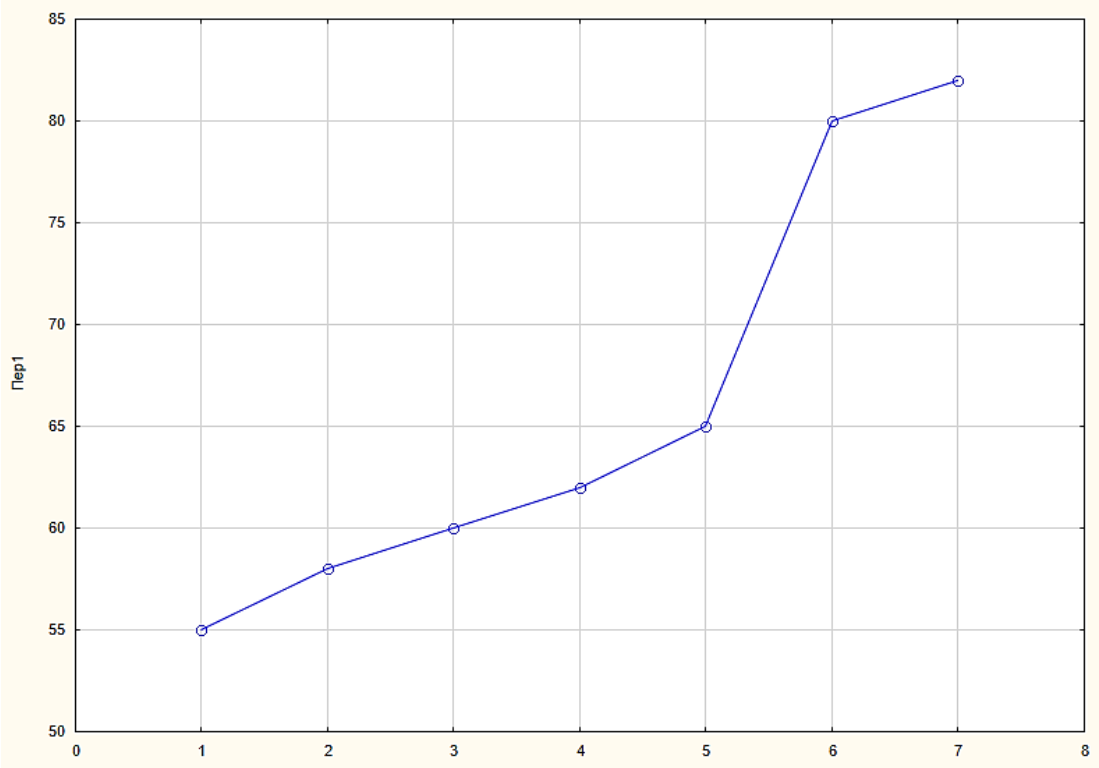


Рис. 1. Диаграмма Огивы-Гальтона

Оценка полученной диаграммы показывает плавный уровень изменения значений от меньшего к большему, что показывает наличие нормального закон распределения. Далее необходимо построить гистограмму для проверки по критерию Колмогорова (рис. 2).

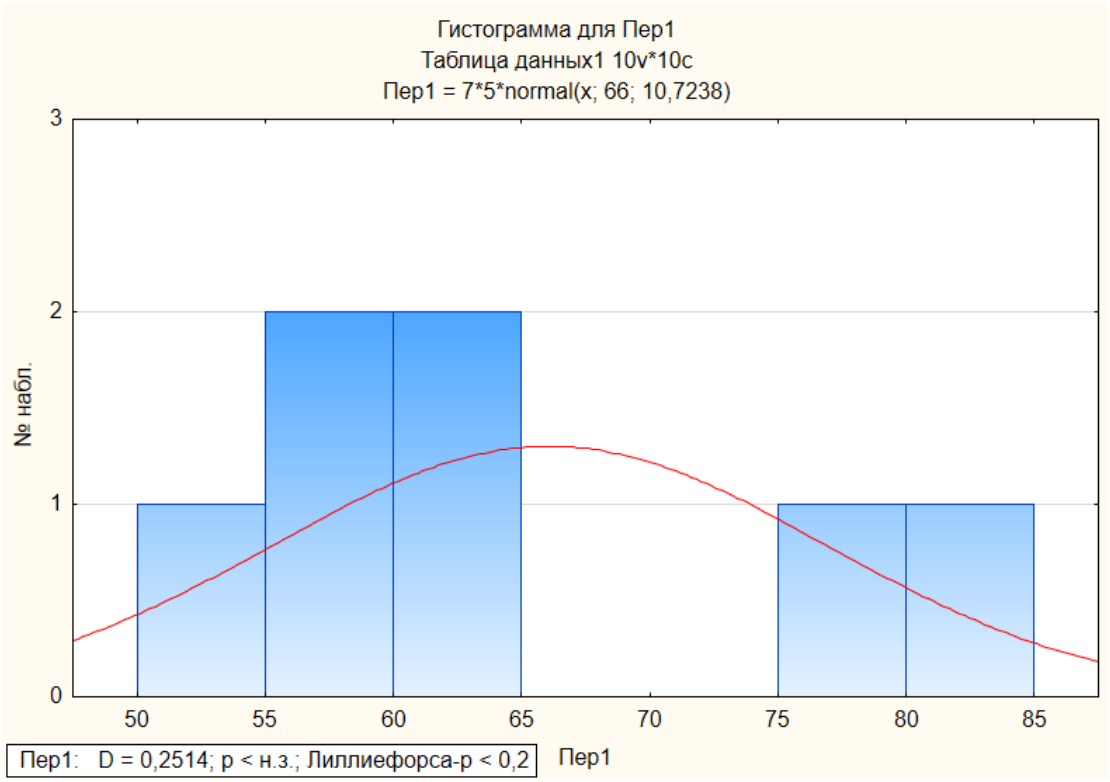


Рис. 2. Гистограмма распределения случайной величины

Значение *D* показывает соответствие критерию Колмогорова. Далее необходимо провести анализ распределения основных статических параметров случайной величины (средневзвешенная *M*(*X*), среднеквадратичное отклонение δ).

Заключение

Показано, что качество образования в транспортных университетах неуклонно снижается, в том числе из-за уменьшения учебной нагрузки, предназначенной для изучения специальных дисциплин. Показано, что большой стаж работы не всегда служит гарантом высокой квалификации сотрудников. Проведена оценка закона распределения случайной величины, которая показала наличие нормального распределения, что, с одной стороны, является отрицательной тенденцией, а с другой – может быть интерпретировано как возможность запуска обратных процессов. Также существует возможность построения предиктивных моделей, ориентированных на построение прогнозов в данном направлении, что необходимо для устойчивого развития железнодорожного транспорта.

Библиографический список

1. Доренко, К. С. Современные тенденции и направления развития высшего образования в России / К. С. Доренко, Н. Н. Морозова // Образование и право. – 2023. – № 8. – С. 431–438. – Текст : непосредственный.

2. Амиров, Р. А. Стратегия развития высшего образования в России / Р. А. Амиров // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 8 (99). – С. 105–117. – Текст : непосредственный.

3. Гаврилова, Н. М. Кадровая инфраструктура национальной инновационной системы: проблемы и перспективы развития / Н. М. Гаврилова // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2015. – № 9(243). – С. 23–35. – Текст : непосредственный.

4. Богданова, И. И. Отмена болонской системы: проблемы и перспективы высшего образования в России / И. И. Богданова // Актуальные проблемы педагогики и психологии. – 2022. – № 8. – Т. 3. – С. 431–438. – Текст : непосредственный.

5. Ильченко, С. В. Исследование зарубежного опыта мотивации трудовой деятельности персонала / С. В. Ильченко // Бизнес и дизайн ревю. – 2021. – № 1 (21). – С. 4. – Текст : непосредственный.

6. Образование в цифрах: 2024 : краткий статистический сборник / Т. А. Варламова, Л. М. Гохберг, О. А. Зорина [и др.] ; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – Москва : ИСИЭЗВШЭ, 2024. – 132 с. – 200 экз. – ISBN 978-5-7598-3020-7 (в обл.). – Текст : непосредственный.

7. Лебедев, О. В. Аналитический взгляд на развитие рынка труда и системы образования в Российской Федерации / О. В. Лебедев, А. А. Яновская // Социально-трудовые исследования. – 2024. – № 2(55). – С. 15–24. – DOI 10.34022/2658-3712-2024-55-2-15-24. – Текст : непосредственный.

8. Федеральный закон от 10 января 2003 г. № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями). – Текст : непосредственный.

9. Реформирование и регулирование железнодорожного транспорта в России // Экономика железных дорог. – 2020. – № 8. – С. 11–14. – EDN UHYOBN. – Текст : непосредственный.

10. Жигунова, А. В. Проблемы формирования кадрового потенциала ОАО «РЖД» / А. В. Жигунова // Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. – 2011. – № 3. – С. 45–51. – Текст : непосредственный.

11. Наумов, А. И. Проблемы профессионального обучения персонала на железнодорожном транспорте / А. И. Наумов, О. В. Мраморнова //

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 270–276. – DOI 10.18500/1994-2540-2015-15-3-270-276. – Текст : непосредственный.

12. Ковригина, И. В. Влияние современного высшего образования на подготовку специалистов для транспортной отрасли / И. В. Ковригина, Р. С. Большаков // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2026. – № 1 (249). – С. 64–71. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Ковригина Инна Владимировна, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и системы обеспечения движения поездов», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, innabella84@mail.ru ;

Большаков Роман Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» , ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Иркутск, Россия, bolshakov_rs@mail.ru

Ковригина И. В., Большаков Р. С.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ 3ЭС5К

Повышение надежности силовых агрегатов электровоза относится к актуальным направлениям для возможности улучшения перевозочного процесса. Возникновение отказов в работе и как следствие задержки в графике движения поездов обусловлены причинами, связанными с низкой квалификацией машинистов. Поиск технических решений, направленных на повышение надежности электрических машин является достаточно перспективным научным исследованием. Данная работа посвящена разработке технических предложений для создания устройства ограничения от перенапряжения на якоре двигателя.

Ключевые слова: надёжность электровоза, тяговый электродвигатель.

При определении надёжности тягового подвижного состава необходимо учитывать уровень безотказной работы тяговых электрических машин локомотива. Поэтому в анализе отказов локомотивов особое ме-

сто уделяется отказам, связанным с надежностью тягового электродвигателя и приборов его питания.

По итогам за 1 квартал 2025 года (по данным ООО «ЛокоТех-Сервис» Забайкальский) количество неисправностей с тяговыми двигателями составило 376 случаев в сравнении с аналогичным периодом 2024 года – 257 случаев, увеличение составило 119 случаев или 46 % по отношению к 2024 году. Распределение неисправностей по ТЭД, приведено в табл. 1.

Таблица 1

Распределение неисправностей ТЭД по узлам за 1 квартал 2024 и 2025 гг.

Наименование неисправностей ТЭД	2025 г.	2024 г.
Щеточный аппарат тягового двигателя пульсирующего тока	218	164
Коллектор тягового двигателя пульсирующего тока	86	42
Якорь тягового двигателя пульсирующего тока	4	29
Остов тягового двигателя пульсирующего тока	8	0
Дополнительные полюса тягового двигателя пульсирующего тока	11	2
Главные полюса тягового двигателя пульсирующего тока	15	2
Моторно-якорный якорный подшипник тягового двигателя пульсирующего тока	3	1
Якорь тягового двигателя постоянного тока	12	4
Компенсационная обмотка тягового двигателя пульсирующего тока	3	1
Щеточный аппарат тягового двигателя постоянного тока	2	2
Дополнительные полюса тягового двигателя постоянного тока	8	2
Выводная коробка тягового двигателя постоянного тока	2	0
Коллектор тягового двигателя постоянного тока	2	0
Кран главного резервуара	1	0
Выводная коробка тягового двигателя пульсирующего тока	1	0
Остов тягового двигателя	0	4
Удерживающая катушка выключателя быстродействующего	0	1
Главные полюса тягового двигателя постоянного тока	0	1
Круговой огонь по коллектору (ст.кл.)	0	1
Силовые контакты электропневматического контактора силовой цепи	0	1

Возникновение отказов является следствием неисправностей, которые носят производственный характер, что является причиной несовершенной технологии ремонта или сборки и эксплуатационный, что является причиной неисправностей при нарушении норм эксплуатации (табл. 2).

Нередко в случаях отказа тяговых электродвигателей происходят из-за не добросовестного отношения персонала при выполнении ремонта электрических машин. В ходе приемке электровоза локомотивной бригадой на путях в парках отстоя не представляется возможность выявить случаи нарушения технологии ремонта ТЭД, поэтому локомотив выходит в рейс в неподготовленном состоянии, что приводит к возникновению отказов в пути следования в составе поезда.

Таблица 2

Распределение возникновения неисправностей ТЭД по группам неисправностей за период 1 квартала 2024 и 2025 гг.

Группа неисправностей	2025 г.	2024 г.	+/-	%
Эксплуатационная	175	99	76	76,77 %
Производственная	192	148	44	29,73 %
Деградационная	2	4	-2	50,00 %
Технологическая	1	1	0	0,00 %
Конструктивная	5	2	3	150,00 %

Данные анализа технического состояния приписного парка электровозов ОАО «РЖД» в период с 1980 г. по 2025 г. показывают, что средний вес поездов увеличился на 20–30 %. Из-за этого возросло количество отказов тяговых электродвигателей (в период с 1999 г. по 2025 г. произошло увеличение отказов в 3,3 раза). Можно сказать, что это косвенно подтверждает резкий рост числа возникновения неисправностей тяговых двигателей. Приблизительно 50 % тяговым двигателям требуется ремонт в объеме КР не по пробегу, а по состоянию, из-за повреждений, связанных с межвитковыми замыканиями якоря и катушек полюсов, пробою изоляции якорных обмоток и катушек полюсов (см. табл. 1).

В настоящее время рабочий парк грузовых электровозов состоит в основном из электровозов серии «ЕРМАК» [1]. Эти электровозы считаются современными, но на них используются тяговые электродвигатели пульсирующего тока, применяемые так же и на более старых электровозах ВЛ85, поэтому проблема с конкретными неисправностями перешла и на электровозы серии «ЕРМАК» [2].

По электровозам серии 2ЭС5К, 3ЭС5К за период 12 месяцев 2024 года установлено 1371 заходов электровозов на неплановый ремонт. В сравнении с тем же периодом 2023 года, произошло 267 случая заходов, что говорит об увеличении количества заходов на неплановый ремонт в 5,2 раза. В табл. 3 представлены сведения по отказам электровозов по сериям.

Таблица 3

Распределение отказов по сериям электровозов за 2024 г.

Серия электровоза	2ЭС5К	2×2ЭС5К	3ЭС5К
Количество отказов	228	467	676
Итого	1371		

Проведение обзора, выявленных неисправностей тяговых двигателей электровоза, можно отметить, что из-за множества сочетающихся факторов таких как, перегрев, попадание влаги и загрязнений в элементы конструкции двигателя, воздействия вибраций, а так же перенапряжения приводит к возникновению такой неисправности, как пробой изоляции и МВЗ якоря (табл. 4). Снижение срока службы изоляции якоря электродвигателя в течение срока службы определяет поиск новых решений для повышения ее надежности, задаче повышения её ресурса предоставляется большое внимание [2]. При рассмотрении процентного распределения отказов, можно отметить, что более одной трети от общего числа отказов тяговых электродвигателей принадлежит отказам лобовым частям обмоток якоря тягового электродвигателя.

Таблица 4

Распределения отказов элементов ТЭД типа НБ-514Б электровозов серии «ЕРМАК» за 2024 и 2025 гг.

Характер повреждений	2024 год	2025 год
Пробой изоляции и МВЗ якоря	39	54
Повреждение МЯП	38	47
Повреждения остова (трещина)	14	17
Пробой и МВЗ обмоток ДП	14	14
Пробой и МВЗ обмоток ГП	12	19
Повреждение соединений между ГП, ДП, КО	11	15
Проникновение смазки в остов	10	16
Задир коллектора	9	11
Ослабление подшипникового щита	7	13
Низкая изоляция якоря	6	11
Повреждение выводов ГП, ДП, КО	4	6
Ослабление ДП	4	6
Биение якоря	4	6
Оплавление пластин коллектора	3	10
Выплавление петушков	3	7
Повреждение выводных кабелей ТЭД	3	6
Повреждение перемычек траверсы	3	6
Разрушение бандажа якоря	2	10
Повреждение перемычек между щёткодержателями	2	5

Окончание табл. 4

Характер повреждений	2024 год	2025 год
Излом вала якоря	2	3
Пробой и МВЗ КО	1	3
Ослабление сердечника ГП	0	0
Заклинивание траверсы	0	0
Прочие повреждения	18	22
МВЗ – межвитковое замыкание; МЯП – моторно-якорные подшипники; ДП – дополнительные полюса; ГП – главный полюс; КО – компенсационная обмотка		

Снижение числа отказов по причине выхода из строя тяговых электродвигателей является перспективным направлением для повышения их надежности и соответственно для улучшения экономических показателей, которые возникают при проведении ремонта.

Основные направления для повышения надежности ТЭД:

- совершенствование предпроектных исследований для повышения надежности ТЭД на этапе их создания;
- изменение технологии ремонта ТЭД и внедрение новых способов диагностики;
- исключение аварийных режимов работы за счет внедрения технологий с интеллектуальными системами.

Работа тяговых электродвигателей при эксплуатации электровоза сопровождается возникновением превышения норм эксплуатационных характеристик, влияние которых невозможно исключить полностью.

Наибольшее число отказов на ТЭД возникает из-за перенапряжения, когда величины напряжения превосходит нормируемые значения.

При эксплуатации локомотива для достижения наибольшей мощности двигателя машинисты используют высокие значения силы тока, превышают номинальные значения напряжения на коллекторе ТЭД, что приводит к выходу из строя тягового оборудования.

Для анализа была взята справки по расшифровки МСУД электровоза 3ЭС5К № 180. В справке видно, что на электровозе 3ЭС5К №180 было допущена нарушение касающееся превышения номинального напряжения на тяговых электродвигателях всех секций что привело к срабатыванию реле «земли» KV1 и KV3 (рис. 1).

Исходя из этого, можно сделать вывод, что устройство по ограничению перенапряжений необходимо для снижения числа нарушений приводящих к отказам, задержкам поездопотока, неплановым ремонтам ТЭД.

К основному направлению повышения надежности ТЭД можно отнести разработку технических решений для ограничения перенапряжений или опасных скачков напряжения на якоре ТЭД.

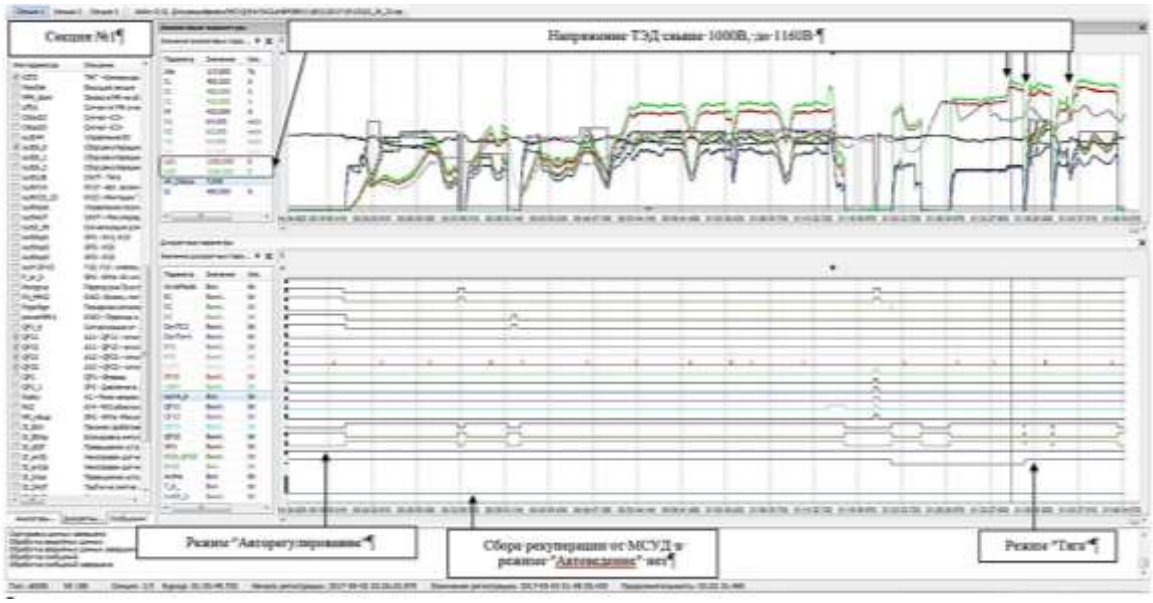


Рис. 1. Участок расшифровки параметров МСУД

Разработка устройства для ограничения перенапряжений является актуальным техническим предложением для повышения надежности ТЭД. Ограничитель перенапряжений представляет собой полупроводниковый или нелинейный аппарат, который способен отводить избыточный ток, тем самым защищая изоляцию обмоток ТЭД.

Конструктивные составляющие в предлагаемом устройстве ограничения перенапряжений на якоре ТЭД включают в себя: медный проводник; ОПН; наконечник; крепежный комплект (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид ограничения перенапряжений ОПН

Составные элементы ограничения перенапряжений ОПН состоят из комплектующих, которые подлежат обязательной сертификации и стандартизации в соответствии с [3–7].

Основываясь на анализе номинальных показателей тяговых двигателей, расшифровки МСУД совместно с анализом отказов и эксплуатационных характеристик принимаем следующие параметры нелинейного ограничителя перенапряжений (табл. 4).

Таблица 4

Характеристики ОПН-П-1/1,2/10/400 УХЛ1

Наименование параметра	Величина параметра	
1	*2*	
Класс напряжения. кВ	1	
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение. кВ (действующее значение)	1.2	
Номинальное напряжение. кВ (действующее значение)	1,5	
Напряжение на ограничителе, допустимое в течение времени. кВ (действующее значение)	без нагрузки	с нагрузкой
3600 с	1.4	1.4
1200 с	1.5	1.4
10 с	1,7	1,6
1 с	1.7	1.7
Номинальный разрядный ток (амплитуда грозового импульса тока 8/20 мкс). А ампл.	10000	
Пропускная способность (амплитуда прямоугольного импульса тока длительностью 2000 мкс), А (амплитудное значение)	400	
Остающееся напряжение при нимпульсном токе на волне 80/20 мкс. кВ. не более, с амплитудой		
5000 А	3.4	
10000 А	3.7	
20000 А	4.0	
Остающееся напряжение при импульсном токе на волне 30/60 мкс, кВ, не более, с амплитудой		
250 А	2.9	
500 А	3.0	
1000 А	3,1	
Остающееся напряжение при импульсном токе на волне 1/10 мкс с амплитудой 10000 А. кВ. не более	4.0	
Классификационное напряжение ограничителя при активной составляющей переменного тока амплитудой 2 мА. кВ (действующее значение), не менее	1.5	

Окончание табл. 4

1	*2*
Пропускная способность ограничителя:	
а) 18 импульсов тока прямоугольной формы длительностью 2000 мкс с амплитудой, А	400
б) 20 импульсов тока 8/20 мкс с амплитудой, А	10000
в) 2 импульса тока 4/10 мкс с амплитудой, А	100000
Удельная энергоемкость. КДж/кВ (действующее значение)	2,0

Принцип действия ОПН основан на том, что проводимость варисторов нелинейно зависит от приложенного напряжения. В нормальном режиме ОПН не пропускает ток, но как только на участке сети возникает перенапряжение, сопротивление ОПН резко снижается, чем и обуславливается эффект защиты от перенапряжения. После прохождения разряда через ОПН, его сопротивление опять возрастает. Переход из «закрытого» в «открытое» состояния занимает меньше 1 наносекунды. Высокая нелинейность резисторов ОПН позволяет значительно снизить перенапряжения на тяговых электродвигателях.

Расчет экономического эффекта от внедрения нового устройства произведён на основе данных представленных Дирекцией тяги. Полученные данные по внеплановым видам ремонта составили 187 случаев за год, а это не один час простоя и задержек.

К примеру, согласно отчету производственно-финансовой деятельности эксплуатационного локомотивного депо Чита за 12 месяцев 2025 г. среднее время простоя электровозов на неплановом ремонте за 12 месяцев 2025 года составило 25,6 часа против 23,90 часа за аналогичный период 2024 года, что на 1,7 часа или 6,6 % больше, чем в 2024 году.

Примем 187 случай по часу за каждый определим потери от количества не-плановых ремонтов.

$$\sum P_{\text{потери}} = 187 \cdot 49135{,}10 = 9188264 \text{ млн руб.}$$

В год 187 случаев обойдутся, как минимум в 9 188 264 млн руб., помимо расходов на ремонт ТЭД, помимо суммарных потерь вызванных задержкой грузовых и пассажирских поездов.

Для наглядности произведен расчет от потерь, вызванной задержкой грузового поезда № 2546 в сутках 03.12.2020 г. В сутках 03.12.2020 г. при следовании по перегону Тайдут–Могзон поезда № 2546 с локомотивом 2ЭС5К № 344 приписки ТЧ Иланская под управлением машиниста ТЧЭ Чита произошла неисправность ТЭД, которая вызвала 44 неграфиковых остановок грузовых поездов. 127,02 часа – общая

задержка грузовых поездов в часах; 6 – пассажирских 6,68 час – общая задержка пассажирских поездов;

Расходы, вызванные неграфиковым простоем грузовых поездов определим по формуле (1,2,3)

$$Р_{п.з.п} = 127,02 \times 3450,98 = 438343,48 \text{ руб.} \quad (1)$$

Расходы, вызванные неграфиковыми остановками грузовых поездов

$$Р_{ост} = 44 \times 243,56 = 10716,64 \text{ руб.} \quad (2)$$

Расходы, вызванные неграфиковым простоем пассажирских поездов, составляют 6032,51 руб.

$$Р_{п.з.п} = 6,68 \times 6032,51 \text{ руб.} = 40297,17 \text{ руб.} \quad (3)$$

Расходы, вызванные неграфиковыми остановками пассажирских поездов – 287 руб. – себестоимость неграфиковых остановок пассажирского поезда:

$$Р_{ост} = 6 \times 287 \text{ руб.} = 1722,0 \text{ руб.}$$

Общие затраты, вызванные задержкой грузового поезда оставят:

$$\sum Р = 438343,48+10716,64+40297,17+1722,0 = 491079,29 \text{ руб.}$$

Суммарные потери, вызванные задержкой грузового поезда, предварительно составили 491079,29 руб.

Затраты на модернизацию электровоза устройством ограничения напряжения на тяговых двигателях составляют 45988,75 рублей на 1 секцию электровоза серии ЭС5К. По проведенной оценке можно сделать вывод, что при задержке поезда на 1 час, эффект будет составлять:

$$Э_{ВН} = 491079,29 - 45988,75 = 445090,54 \text{ тыс. руб.}$$

Как минимум на 445090,54 тыс. руб., в год составит экономии от применения устройства ОПН, что является экономически выгодным техническим решением с точки зрения предупреждения неплановых ремонтов, простоя электровозов, и непредвиденных задержек поездов.

Библиографический список

1. Щербатов, В. В. Моделирование теплового состояния тягового электродвигателя для прогнозирования ресурса / В. В. Щербатов, О. Л. Рапопорт, А. Б. Цукублин // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2015. – Т. 308, № 7. – С. 156–159. – Текст : непосредственный.
2. Грищенко, А. В. Новые электрические машины локомотивов : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / А. В. Грищенко, Е. В. Казаченко. – Москва : учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2018. – 271 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 20.57.406-81. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 16962.2-90. Изделия электротехнические. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам. – Текст : непосредственный.
6. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ 23216-78. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Ковригина Инна Владимировна, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и системы обеспечения движения поездов», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, innabella84@mail.ru ;

Большаков Роман Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Иркутск, Россия, bolshakov_rs@mail.ru

Козин Е. В.

ОБ ИНЖЕНЕРНЫХ РИСКАХ ПРОВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ВБЛИЗИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ

Сегодня высокоскоростное железнодорожное сообщение рассматривают как один из важных способов обновления транспортной системы Российской Федерации. Строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей связано с решением целого ряда инженерных задач, в т. ч. с обеспечением безопасности территорий, зданий и сооружений, которые находятся рядом с трассой и могут испытывать влияние строительных, а затем эксплуатационных нагрузок. В предлагаемой статье рассматриваются основные факторы, влияющие на сохранность зданий, сооружений, окружающую инфраструктуру при строительстве современных высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Ключевые слова: магистраль, строительство, здание, деформация, риск, работа.

Особенно сложны участки, где высокоскоростная железнодорожная магистраль проходит через уже сложившуюся городскую среду. Рядом с будущей линией могут находиться жилые и общественные здания, инженерные сети, действующие транспортные объекты, а также сооружения, имеющие историко-культурную ценность. Научно обоснованно, что даже небольшие отклонения, измеряемые миллиметрами, могут перейти в осадки, горизонтальные смещения, крены или локальные повреждения конструкций.

Строительство железнодорожных трасс высокоскоростных магистралей (далее ВСМ) вблизи существующей застройки связано с повышенным инженерным риском. Земляные работы, устройство выемок, насыпей, искусственных сооружений и временных площадок изменяют состояние окружающей среды. Если рядом находятся здания старой постройки или объекты с дефектами, вероятность неблагоприятных последствий возрастает.

Наиболее значимыми факторами риска являются вибрации, осадки оснований, горизонтальные смещения, крены и изменение гидрогеологических условий. Вибрации возникают от работы тяжёлой техники, уплотнения грунта, бурения, забивки свай и движения строительного транспорта. Они могут усиливать трещины, ослаблять соединения эле-

ментов и вызывать локальные деформации, особенно в зданиях с износом и на неоднородных грунтах.

Осадки оснований и фундаментов возникают из-за изменения напряжённого состояния грунтового массива при устройстве выемок, котлованов, насыпей, опор, тоннелей и водопонижения. Это может приводить к неравномерной осадке, трещинам, перекосам проёмов и ухудшению технического состояния здания. Горизонтальные смещения и крены опасны тем, что изменяют положение здания в плане и нарушают распределение нагрузок. Дополнительно строительные работы могут менять водный режим территории, вызывая переувлажнение или подсушивание основания, что особенно важно для водонасыщенных и пылевато-глинистых грунтов. Существенный риск связан и с прямым повреждением конструктивных элементов. На практике это проявляется в виде трещин в стенах, раскрытия швов, деформации фасадов, просадки полов, перекоса оконных и дверных проемов, повреждения отделки и разрушений цокольной части.

Однако такие дефекты чаще всего являются уже следствием более ранних процессов в основании и грунтовой толще. По этой причине фиксации только видимых повреждений недостаточно. Необходим контроль скрытых изменений, которые формируют опасную динамику. В этой связи уместна позиция научного сообщества в необходимости проведения своевременного геодезического мониторинга объектов историко-культурного наследия, попадающих в зону влияния строительства" [1]. Для более наглядного понимания механизма риска целесообразно представить условную схему передачи воздействия от строительной зоны к зданию (см. Рисунок).

Приведенная схема показывает, что между строительными работами и видимыми повреждениями здания существует промежуточная цепочка процессов. Стоит отметить, что деформации не возникают сразу в виде трещин на фасаде. Сначала меняется состояние грунтовой среды, затем эти изменения передаются основанию и фундаменту, и только после этого проявляются в надземной части здания. Для понимания задач геодезического мониторинга это особенно важно, поскольку контроль должен быть направлен не только на фиксацию уже возникших дефектов, но и на раннее выявление осадок, смещений и других признаков развивающегося риска.

Необходимо учитывать и скрытый характер развития деформаций. Многие процессы в зоне влияния строительства ВСМ протекают постепенно и на ранней стадии могут не иметь внешних признаков. Здание внешне выглядит устойчивым, хотя в основании уже происходят изме-

нения, способные позднее привести к заметным повреждениям. По этой причине визуальная оценка состояния объекта часто оказывается запоздалой, а решающее значение приобретает инструментальный контроль.

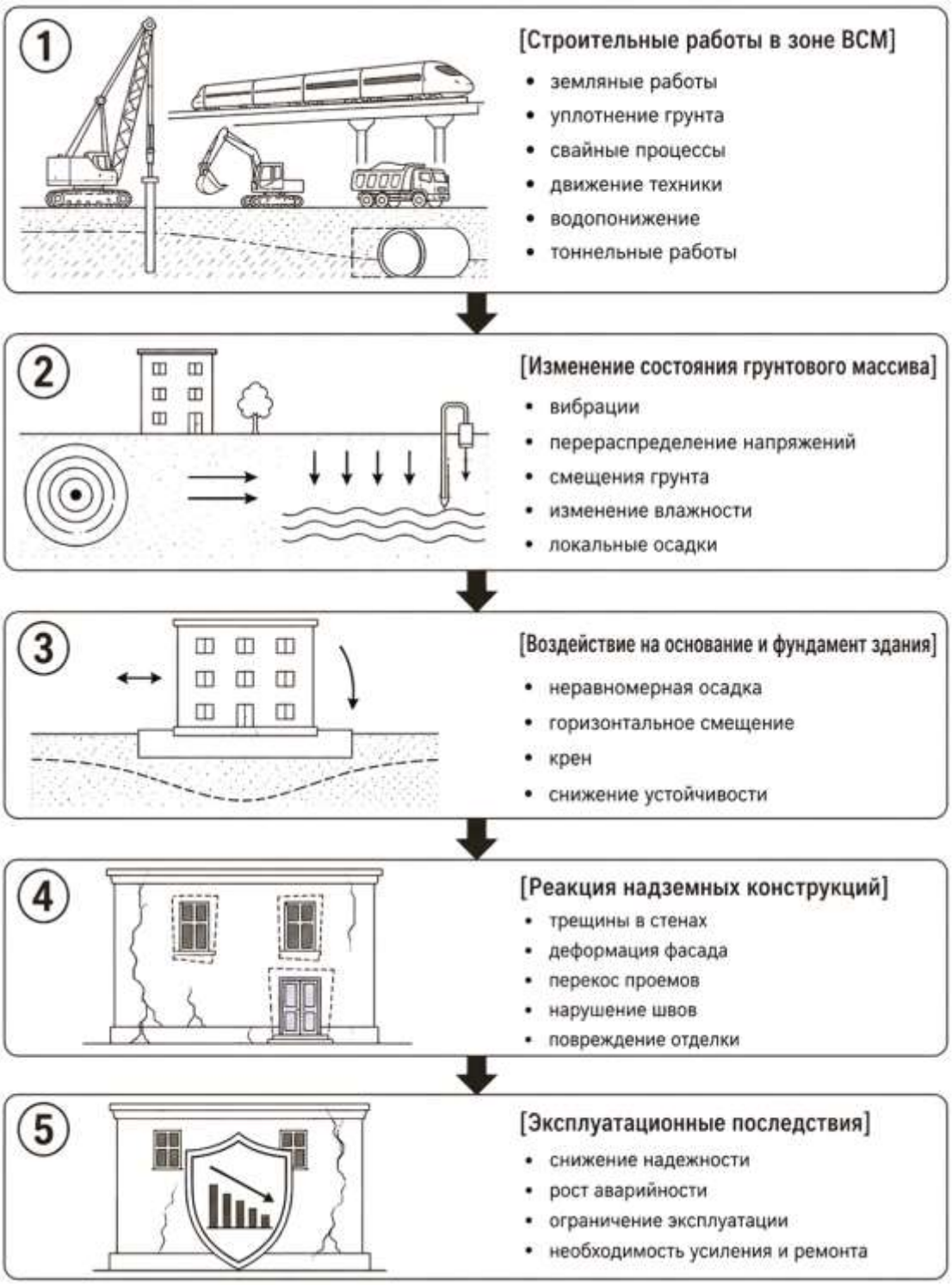


Рисунок. Схема передачи воздействия от строительной зоны к зданию

Степень риска зависит и от характеристик самого здания (сооружения). Одни и те же воздействия по-разному отражаются на сооружениях различной конструкции, возраста и технического состояния. Более уязвимыми обычно являются здания с физическим износом, существующими трещинами, неоднородным фундаментом, пристройками и нарушенной пространственной жесткостью. Существенную роль играют расстояние до трассы, вид строительных работ, глубина вмешательства в грунт и интенсивность механического воздействия, что связано с соблюдением требований к точности при наблюдениях за деформациями в горизонтальной и вертикальной плоскостях [2, 3].

С практической точки зрения наиболее опасно сочетание нескольких факторов. Вибрация сама по себе может не привести к серьезным последствиям, если здание находится в хорошем состоянии и расположено на устойчивом основании. Однако при слабых грунтах, высоком уровне грунтовых вод и наличии трещин даже умеренные воздействия становятся значительно более опасными. Аналогичная ситуация возникает и с осадками, когда небольшие перемещения в сочетании со смещением или креном дают уже более тяжелый результат. Поэтому оценка риска должна быть комплексной.

Для исследования особенно важен вывод о том, что основная опасность при строительстве ВСМ заключается не в отдельном воздействии, а в совокупности взаимосвязанных процессов. Вибрации, осадки, смещения, изменение гидрогеологических условий и повреждения конструкций образуют единую цепочку риска, способную затронуть здания даже без прямого контакта со строительной площадкой. Кроме того, вибрационные воздействия при строительстве высокоскоростной магистрали следует рассматривать как один из самостоятельных факторов риска для зданий, расположенных рядом с зоной работ. В нормативных документах вибрация зданий связывается с техногенными источниками, в том числе со строительными работами и движением транспорта, а оценка такого воздействия выполняется с учетом риска появления повреждений конструкций, способных снизить эксплуатационную надежность здания. Поэтому для застройки в зоне влияния ВСМ важен не только сам факт наличия колебаний, но и их возможные последствия: появление трещин, ухудшение несущей способности отдельных элементов и снижение устойчивости конструктивной системы.

По этой причине сохранение застройки в зоне влияния ВСМ требует выявления уязвимых объектов, определения контролируемых параметров и организации систематических наблюдений. Именно это подводит к рассмотрению мониторинга как основного инструмента предупреждения и контроля деформационных процессов [4, 5].

Библиографический список

1. Зайцев, А. К. Геодезические методы исследования деформаций сооружений / А. К. Зайцев, С. В. Марфенко, Д. Ш. Михелев [и др.]. – Москва : Недра, 1991. – 272 с. – Текст : непосредственный.

2. Далматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты, включая специальный курс инженерной геологии / Б. И. Далматов. – Издание 6-е, стереотипное. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 416 с. – Текст : непосредственный.

3. Землянский, А. А. Мониторинг технического состояния зданий и сооружений / А. А. Землянский, К. А. Землянский. – Москва : Издательство АСВ, 2025. – 636 с. – Текст : непосредственный.

4. ГОСТ 24846–2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – Москва : Стандартинформ, 2019. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Москва : Стандартинформ, 2015. – Текст : электронный.

Сведения об авторе:

Козин Евгений Вячеславович, к.т.н., доцент кафедры «Инженерная геодезия», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, ekozin1970@mail.ru.

Козин Е. В.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ В ГОРОДСКОЙ И ПРИГОРОДНОЙ СРЕДЕ

В настоящее время особый интерес представляет взаимодействие высокоскоростной железнодорожной магистрали с городской средой. В отличие от обычной железной дороги, высокоскоростная линия предъявляет более жёсткие требования к геометрии трассы, объёму инженерной подготовки, устройству эстакад, тоннелей и насыпей, а также к устойчивости грунтового основания. Поэтому зона влияния магистрали выходит за пределы пути и может затрагивать соседние здания, инженерные сети и элементы городской планировки. В предлагаемой статье рассматриваются особенности проектирования высокоскоростной железнодорожной магистрали в городской и пригородной среде.

Ключевые слова: магистраль, требования, трасса, здание, жилая застройка, среда.

При прохождении высокоскоростной железнодорожной магистрали (ВСМ) рядом со сложившейся городской средой необходимо учитывать многие факторы, к основным из которых относятся состояние грунтов, конструктивные особенности близлежащих сооружений, их чувствительность к вибрациям и осадкам, а также возможность мониторинга опасных изменений. Поэтому ВСМ рассматривается не изолированно, а как объект, воздействующий на окружающую территорию и инфраструктуру.

Размещение трассы ВСМ в городской и пригородной среде относится к сложным задачам транспортного проектирования. На свободной территории трассирование в основном зависит от рельефа, геологических условий и технико-экономических факторов. В городе к ним добавляются плотная застройка, улично-дорожная сеть, коммуникации, санитарные и природоохранные ограничения, а также необходимость сохранения устойчивости сложившейся среды.

Положение трассы высокоскоростной линии нельзя выбирать по логике обычной железной дороги. При больших скоростях требуются крупные радиусы кривых, плавный продольный профиль, отсутствие резких переломов и пересечений в одном уровне. Если на обычной железной дороге часть ограничений можно компенсировать снижением скорости, то для ВСМ такая возможность ограничена. Доказано, что чем выше расчётная скорость, тем сложнее встроить линию в уже занятую городскую территорию [1, 2].

При размещении высокоскоростной магистрали необходимо исключать опасные пересечения с автомобильными дорогами и городскими транспортными потоками. Для вновь строящихся железнодорожных линий пересечения с автомобильными дорогами I–III категорий предусматриваются в разных уровнях, а для дорог IV–V категорий такое решение требуется, если на участке реализуются скорости движения поездов свыше 120 км/ч. Поэтому в городской среде возрастает роль путепроводов, тоннелей и эстакад, усложняющих строительство и расширяющих зону влияния работ.

Высокоскоростная магистраль должна быть защищена от случайных пересечений и конфликтов с городской инфраструктурой. Поэтому в проект обычно включают эстакады, путепроводы, тоннельные участки и подпорные конструкции. Эти решения позволяют провести трассу через стесненную территорию, но одновременно увеличивают стоимость

работ, усложняют строительство и расширяют зону возможного воздействия на окружающую застройку.

За пределами плотного города задача меняется, но не становится простой. В пригородной зоне обычно больше пространства для выбора направления, ниже плотность капитальной застройки и меньше ограничений, связанных с существующими улицами. Вместе с тем, появляются другие факторы. Трасса может пересекать индивидуальную жилую застройку, сельскохозяйственные участки, лесные массивы, водные объекты, автомобильные дороги и магистральные инженерные сети. На таких территориях часто встречаются слабые грунты, переувлажненные участки, насыпи старых дорог и заболоченные зоны. Поэтому пригородный участок требует не формального трассирования по свободной полосе, а полноценной оценки грунтовых условий, землепользования, пересечений и будущего режима эксплуатации.

Существенное значение имеет и способ прохождения линии через территорию. Трасса может идти по поверхности, на насыпи, в выемке, по эстакаде, через путепровод или в тоннеле. У каждого варианта есть свои инженерные последствия. Наземное решение обычно требует широкой полосы отвода и сильнее затрагивает существующее землепользование. Насыпь меняет рельеф и может повлиять на водный режим территории. Выемка связана с разработкой грунта, устройством откосов или подпорных стен. Эстакада уменьшает количество пересечений и позволяет пройти над городской инфраструктурой, но требует точной работы с опорами, фундаментами и деформациями пролетных строений. Тоннель помогает сохранить ценные городские участки и снизить визуальное вмешательство, однако остается самым сложным и затратным вариантом, особенно при слабых грунтах и близком расположении существующих зданий.

На выбор трассы влияет и необходимость снизить неблагоприятное воздействие на прилегающую территорию. Для ВСМ наиболее существенны шум и вибрации, изменение состояния грунтов, переустройство инженерных сетей и риск деформаций соседних зданий. Поэтому на стадии проектирования учитывают не только стоимость строительства, но и затраты на защитные мероприятия: шумозащитные экраны, усиление оснований, закрепление грунтов, дренаж, перенос коммуникаций и организацию мониторинга [3, 4].

При таком подходе размещение трассы рядом с существующей застройкой становится не только транспортной задачей. Оно формирует потенциальную зону влияния строительства. В эту зону попадают здания и сооружения, состояние которых может изменяться под действием

земляных работ, вибраций, водопонижения, устройства насыпей или тоннелей. Показательным примером является территория Фарфоровского поста в Санкт-Петербурге, где совмещаются действующая железнодорожная инфраструктура, сложившаяся городская среда, исторически ценные здания и реализация крупного инфраструктурного проекта. Такое сочетание делает выбор трассы инженерно-градостроительной проблемой, а не только вопросом транспортного проектирования.

Для наглядного сравнения вариантов прохождения трассы ВСМ в городской и пригородной среде целесообразно привести условную схему (см. Рисунок).

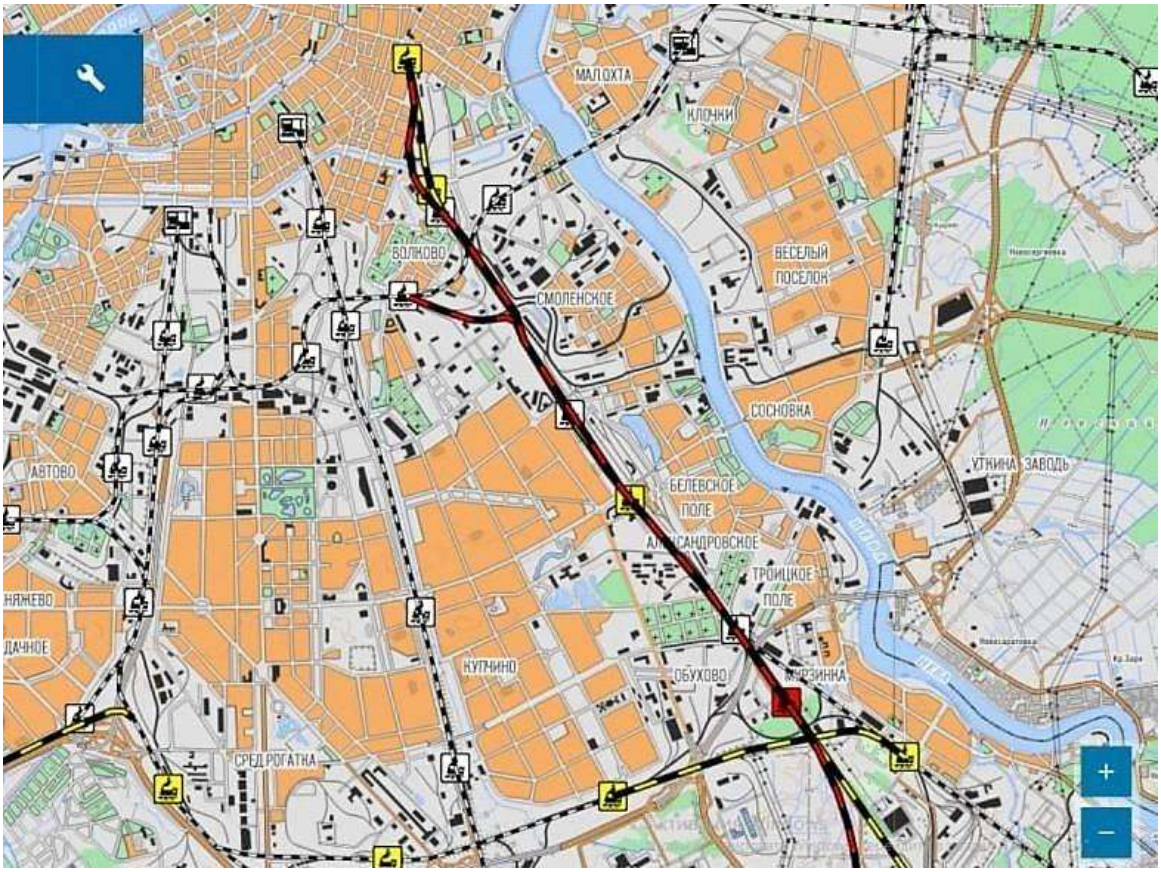


Рисунок. Условная схема размещения трассы ВСМ в городской и пригородной среде

Приведенная схема показывает, что пространственное положение магистрали напрямую зависит от характера окружающей территории. В городе чаще возрастает роль эстакад, путепроводов и других решений, которые позволяют вписать линию в существующую застройку. В пригородной зоне чаще применяются наземные варианты прохождения

трассы, хотя и там могут использоваться выемки, насыпи и отдельные искусственные сооружения.

Главное различие состоит в характере ограничений. В городе на первый план выходят пространственная стесненность, высокая плотность объектов и значительная стоимость любого вмешательства. В пригороде большее значение имеют протяженность линейных пересечений, инженерно-геологические особенности территории и необходимость учитывать разные формы землепользования.

После рассмотрения схемы становится яснее практический смысл выбора трассировочного решения. В сложной городской среде возрастает необходимость специальных мер по защите зданий, коммуникаций и элементов благоустройства. В пригородной зоне большее значение приобретают устойчивость земляного полотна, пересечения с дорогами и инженерными сетями, а также взаимодействие с природными объектами. Поэтому размещение трассы ВСМ должно сопровождаться не только транспортными расчётами, но и оценкой воздействия на прилегающую территорию.

В городской и пригородной среде ВСМ выступает не только транспортным объектом, но и фактором пространственного изменения территории. Она влияет на землепользование, режим использования соседних участков, транспортные связи и состояние существующей застройки. По этой причине размещение линии требует комплексного подхода, включающего транспортное проектирование, инженерную геологию, градостроительный анализ, оценку воздействия на окружающую среду и геодезический контроль [5].

Таким образом, трассировка ВСМ является задачей согласования технических требований магистрали с условиями конкретной территории. В городе основными ограничениями становятся плотность застройки, инженерные коммуникации, историко-культурные объекты и дефицит свободного пространства. В пригороде важнее пересечения с дорогами и сетями, структура землепользования и инженерно-геологические условия. Чем ближе трасса проходит к зданиям, тем важнее оценка зоны влияния и организация геодезического мониторинга.

Библиографический список

1. Артюшенко, И. А. Железнодорожное строительство / И. А. Артюшенко, Б. А. Волков ; под общей редакцией Б. А. Волкова. – Москва : Русайнс, 2026. – 222 с. – Текст : непосредственный.

2. Симонян, В. В. Инженерная геодезия / В. В. Симонян, А. В. Лабузнов, С. В. Шендяпина [и др.] ; Национальный исследовательский Мос-

ковский государственный строительный университет. – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. – 187 с. – Текст : непосредственный.

3. СП 361.1325800.2017. Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов. – Москва : Минстрой России, 2017. – Текст : непосредственный.

4. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Москва : Стандартинформ, 2015. – Текст : электронный.

5. ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Москва : Стандартинформ, 2024. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Козин Евгений Вячеславович, к.т.н., доцент кафедры «Инженерная геодезия», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, ekozin1970@mail.ru.

Комин Е. И., Иванова Т. В.

СРЕДСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ОДОМЕТРИИ

Статья посвящена проблеме координатного обеспечения подвижного состава, использующего одометрический принцип. Рассмотрены главные причины снижения точности: изменение размеров колесной пары в процессе работы, а также проскальзывание и блокировка колес. Предложена конструкция устройства, которая повышает достоверность вычисления координат за счет применения датчиков пути и скорости с увеличенной разрешающей способностью и регулярной привязки к реперным точкам. Приведены расчетные значения погрешности.

Ключевые слова: одометрия, датчик пути и скорости, координата, подвижной состав, погрешность, калибровка, износ колёсных пар, боксование.

Системы безопасности движения поездов, в частности комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ-У), предъявляют высокие требования к точности местоопределения. Основным источником координатной информации выступают глобальные навигационные спут-

никовые системы (ГНСС). Однако в условиях плотной застройки, горного рельефа, тоннелей, а также при радиоэлектронном подавлении сигнал может исчезать. В таких случаях система переключается на счисление пути по одометрии с использованием датчиков пути и скорости (ДПС). Поскольку от точности одометрии напрямую зависит безопасность перевозок, совершенствование средств одометрического определения координат является актуальной инженерной задачей.

Точность одометрии определяет безопасность движения, поэтому совершенствование средств одометрического определения координат является актуальной задачей.

Одометрический метод базируется на подсчете числа оборотов колесной пары и последующем пересчете в линейное перемещение. Пройденный путь вычисляется по формуле 1:

$$S = N \cdot \pi \cdot D, (\text{м}) \qquad (1)$$

где N – число оборотов колеса;

D – диаметр колеса по кругу катания.

Главный источник погрешности – расхождение между реальным диаметром колеса и значением, заложенным в память системы. В процессе эксплуатации диаметр уменьшается из-за износа, что дает систематическую ошибку. Например, если номинальный диаметр равен 1250 мм, а фактический – 1200 мм, то на 100 км пути ошибка составляет 4 км, что недопустимо. Кроме того, негативно влияет низкая частота датчиков (рис. 1).

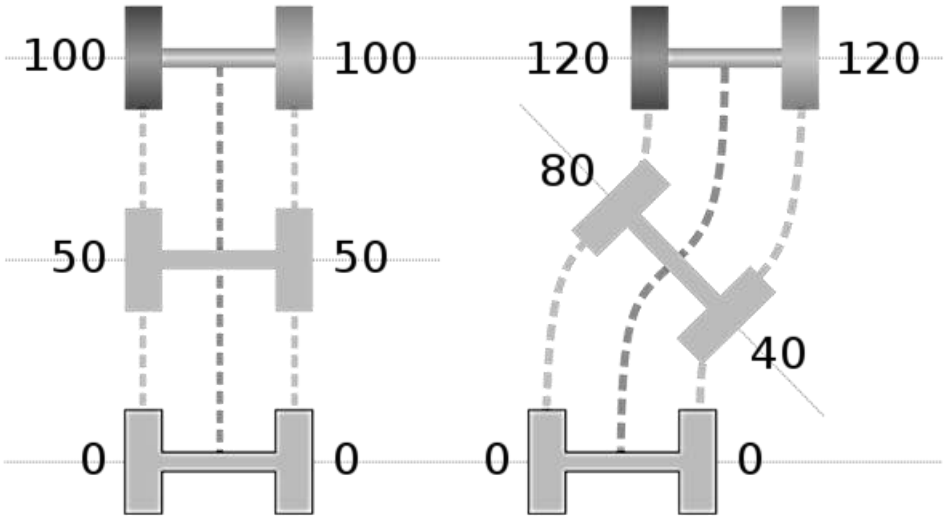


Рис. 1. Пример ошибки при низкой частоте обработки информации

Два ведущих колеса оборудованы датчиками, накапливающими информацию о перемещении. Слева показан случай прямолинейного движения, когда показания датчиков совпадают. Справа – нахождение локомотива в кривой: левый датчик фиксирует 80, правый – 40, что указывает на нахождение локомотива в кривой. Затем локомотив выезжает из кривой, и в конечной точке оба датчика выдают одинаковое значение (большее, чем на левом рисунке, так как пройден больший путь по S-образной траектории). Если программное обеспечение считывает показания датчиков только в конечном положении, возникает ошибочное предположение о прямолинейном движении. Следовательно, редкий опрос данных приводит к существенным ошибкам.

Кроме того, динамические факторы – боксование (проскальзывание при разгоне) и юз (блокировка колес при торможении) – добавляют погрешность, достигающую на коротких интервалах 10–15 %.

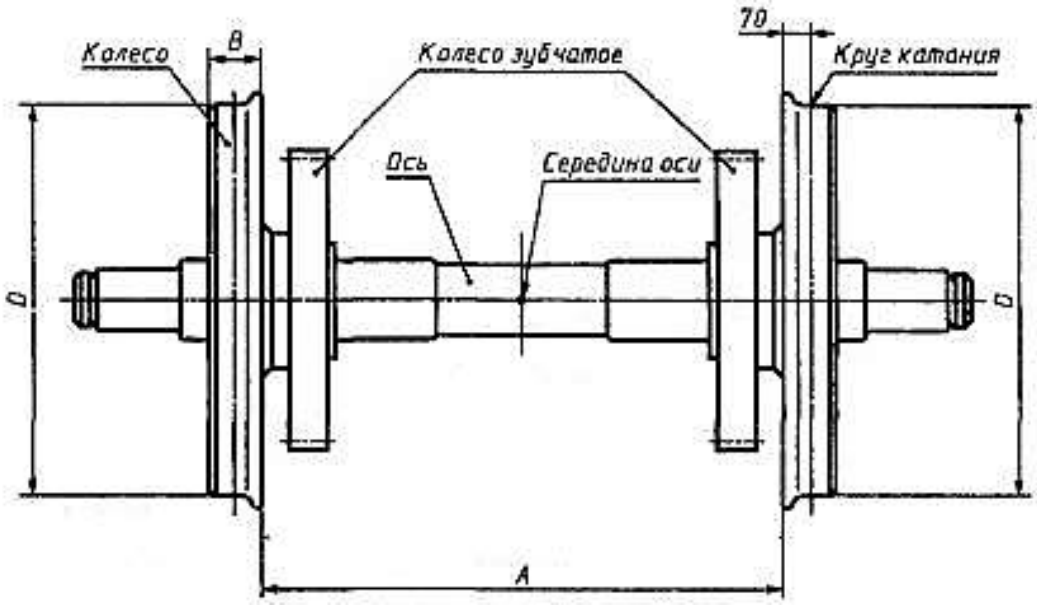


Рис. 2. Колесная пара с двумя зубчатыми колесами на удлиненных ступицах колес, где A – расстояние между внутренними торцами (гранями) ободьев колес; B – ширина обода колеса; D – диаметр колес по кругу катания

Для уменьшения влияния указанных факторов предлагается устройство, содержащее:

1) датчик пути и скорости с увеличенной дискретностью (например, 1024 импульса на оборот), что снижает погрешность дискретизации;

2) два ДПС, размещенных на разных колесных парах, с взаимной коррекцией результатов;

3) модуль периодической калибровки по реперным точкам (сигналам путевых датчиков или станционным элементам), где координата известна с высокой точностью;

4) энергонезависимую память для хранения калибровочных коэффициентов, обновляемых при плановом техническом обслуживании.

5) Использование двух ДПС позволяет обнаруживать боксование и юз путем сопоставления показаний. При расхождении выше порога система может временно игнорировать данные одного датчика или применять усреднение. Однако без адаптивного измерения колес (автоматического определения фактического диаметра в реальном времени) полностью устранить систематическую ошибку невозможно. Поэтому большое значение имеет регулярная калибровка: при каждом заходе локомотива в депо измеряется диаметр колесных пар, и полученное значение заносится в память устройства. Это удерживает погрешность в допустимых пределах.

Погрешность одометрии складывается из нескольких составляющих:

1. Погрешность от несоответствия диаметра вычисляется по формулам (2-3):

$$\delta D = \frac{D\text{факт} - D\text{ном}}{D\text{ном}}, \qquad (2)$$

где δD – разница между номинальным и фактическим диаметром колеса по кругу катания;

Dфакт – фактический диаметр колеса по кругу катания;

Dном – номинальный диаметр колеса по кругу катания.

$$\Delta S = S\text{ист} \cdot \delta D, (\text{м}) \qquad (3)$$

где ΔS – погрешность от несоответствия диаметра;

Sист – истинное значение пути

2. Погрешность дискретизации вычисляется по формуле (4):

$$\Delta S\text{дискр} = \frac{\pi \cdot D}{N\text{имп}}, (\text{м}) \qquad (4)$$

где Nимп – число импульсов на оборот.

При D=1,25м и Nимп=1024, ΔSдискр≈3,8 мм – погрешность пренебрежимо мала.

3. Погрешность от боксования/юза вычисляется по формуле (5):

$$\Delta S_{дин} = S_{ист} \cdot k_{дин}, \text{ (м)} \quad (5)$$

где $k_{дин}$ – коэффициент проскальзывания, достигающий 0,1–0,15.

4. Погрешность от неточности калибровки вычисляется по формуле (6):

$$\Delta S_{кал} = S_{ист} \cdot \delta_{кал}, \text{ (м)} \quad (6)$$

где $\delta_{кал}$ – погрешность измерения диаметра при ТО (например, ±0,5 мм).

Суммарная погрешность может быть вычислена как сумма систематических и случайных составляющих (см. Таблицу).

Таблица

Составляющие погрешности одометрии

Источник погрешности	Величина	Примечание
Износ диаметра (50 мм)	4 %	Систематическая
Дискретизация (1024 имп/об)	0,003 %	Пренебрежимо
Боксование/юз	до 15 %	Случайная, кратковременная
Калибровка диаметра (±0,5 мм)	0,042 %	Систематическая

Применение двух ДПС снижает влияние боксования и юза за счет обнаружения и исключения аномальных показаний. Например, если расхождение между датчиками превышает 5 %, данные признаются недостоверными и используется среднее значение или предыдущая калибровка.

Таким образом, предложенное устройство одометрии позволяет повысить точность определения координат подвижного состава за счет комплексного использования высокоразрешающих датчиков, дублирования измерений и периодической калибровки. Однако без адаптивного измерения износа колес точность ограничена, и дальнейшее совершенствование требует интеграции с другими навигационными средствами.

Библиографический список

1. ГОСТ 11018-2011. Колесные пары тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2011. – Текст : непосредственный.

2. Инструкция ЦТ-805р. Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию колёсных пар локомотивов. – Москва : ОАО «РЖД», 2025. – Текст : непосредственный.

3. Одометрия. – URL : https://robocraft.ru/technology/736 (дата обращения: 16.09.2026) – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Комин Егор Иванович, аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, заведующий лабораторией СБИиБА Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Чита, Россия, egor.komin.2002@mail.ru ;

Иванова Татьяна Владимировна, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и системы обеспечения движения», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Чита, Россия, iv4novatv@mail.ru

Коннов В. И., Дацкая М. Н., Вершинина Е. Е.

НАМЕРЗАНИЕ ГРУНТА ВОКРУГ ОПОРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА

Намерзание грунта вокруг опор железнодорожных мостов приводит к изменению геометрических характеристик верхнего строения железнодорожного пути. Этот процесс зависит от значительного количества факторов, как природных, так и техногенных. К ним относятся: ширина опоры; длина пролета моста или расстояние между опорами; толщина слоя намерзшего грунта по всему периметру соприкосновения опоры с водой и грунтом; толщина водонасыщенных грунтов; залегание материнских пород, водоупора. Очень важно знать границы твердого и жидкого состояния грунтов у опор.

Ключевые слова: намерзание грунта, опоры моста, зимний период, развитие наледей, водоносный слой, подземный контур.

Фундаменты (опоры) железнодорожных мостов приводят к увеличению гидродинамического давления речной воды в границах соприкосновения опор с потоком в теплый период года и намерзанию грунта на опоры в холодный период (см. рис. 1).

Интенсивное намерзание грунта на опоры происходит в марте, апреле холодного периода года. Наледные процессы вокруг опор в этот период принимают постоянный характер, увеличивается мощность наледи.

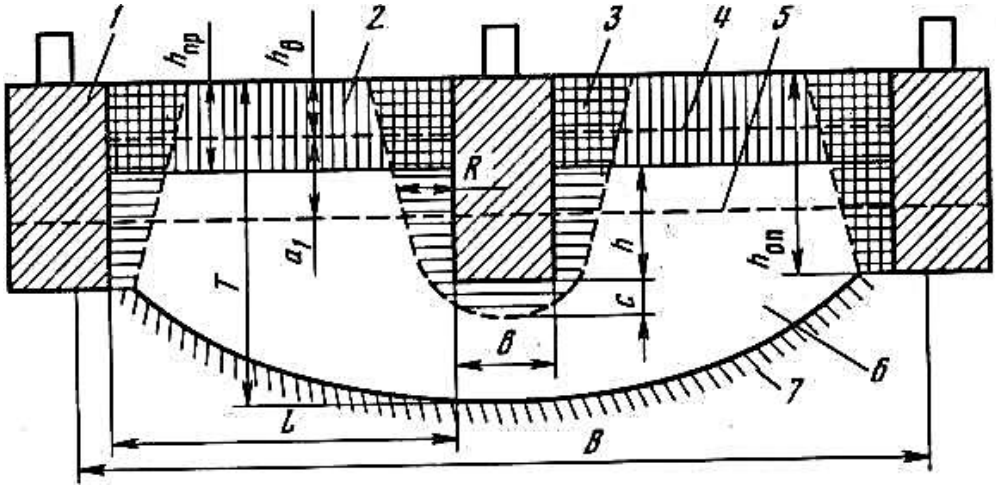


Рис. 1. Влияние опор на гидравлические характеристики речного потока: 1 – фундамент (опора) моста; 2 – слой промерзания грунта в зимний период; 3 – слой грунта, намерзающего на опору в зимний период; 4 – верхняя граница грунтовых вод; 5 – соотношение площади подошвы фундамента (опоры) с водонасыщенными грунтами вокруг опоры; 6 – водонасыщенный слой грунта; 7 – условный водоупор; b – ширина опоры; I – расстояние между опорами; $h_{оп}$ – глубина заложения опоры (фундамента); R и c – величины намерзания грунта на опоре с боков и снизу соответственно; $h_{оп}$ – глубина заложения опоры (фундамента); $h_{пр}$ – глубина промерзания грунта под мостом; $h = h_{оп} - h_{пр}$, $h_в$ – глубина залегания грунтовых вод; a_1 – мощность водоносного слоя, после строительства сплошного фундамента; T – глубина залегания водоупора



Рис. 2. Образование наледи у железнодорожного моста на 6101 км Транссиба

Чем больше сжатие потока воды, тем интенсивнее она выдавливается у опор моста. В холодный период года происходит образование бугров наледи. Бугры наледи влияют на геометрические характеристики самого моста, что вызывает ограничение скорости поездов на этом участке, приводит к снижению грузоперевозок (рис. 2). Ремонтные работы в русле реки вызывают загрязнение воды и другие экологические проблемы [1–6].

Средняя мощность наледи, увеличивающая давление на опоры, вычисляется по формуле

$$\Delta H_{ср} = \Delta H_{ср}^{p} + 1{,}1Z^{1} + 1{,}1Z^{11} + \Delta H_{ср}^{\tau c} + 1{,}1h_{ос}\,, \qquad (1)$$

где $\Delta H_{ср}$ – средняя мощность наледи; $\Delta H_{ср}^{p}$ – средняя мощность речной наледи, образующейся за счет поверхностных вод водотока; $\Delta H_{ср}^{\tau c}$ – средняя мощность речной наледи, зависящая от процессов снеготаяния; $1{,}1Z^{1}$и $1{,}1Z^{11}$ – величина напора (мощность слоя наледной воды в начале и конце наледеобразования); $h_{ос}$ – количество выпадающих за зимний период осадков.

По формуле (2) рассчитывается суммарный коэффициент перемычки грунта у опор:

$$\sum \epsilon = 0{,}88 + \frac{3a_1}{T}\,, \qquad (2)$$

где a_1 – толщина водонасыщенного грунта между опорами моста; T – общая толщина водонасыщенного грунта до самих скальных пород или многолетней мерзлоты (водоупора).

При намерзании грунта R вокруг опор моста уменьшается ширина фильтрационного фронта. Это приводит к увеличению напора воды в зоне фильтрации. Эти параметры потока учитываются при расчете толщины водонасыщенного грунта между опорами моста a_1. Замерзание грунта и талая его часть имеют границу, которая характеризуется функциональной зависимостью $r=R(r)$. Зона мерзлого грунта имеет температуру t_M, а в зоне талого грунта температура $\mathrm{t_T}$ будет выше. Случай, когда $t_T = t_M = t_3$ (где t_3 – температура замерзания грунта) будет являться граничным условием образования мерзлого грунта вокруг опор при $r = t_3$.

Этот физический процесс описывается зависимостью:

$$\lambda_{\mathrm{M}} \frac{dt_M}{dT} - \lambda_T \frac{dt_T}{dT} = L_\rho \frac{dR}{dT}. \qquad (3)$$

Учитывая граничные условия в дифференциальной форме (3), получим:

$$R = 2\gamma\sqrt{aM^T}\ ,\ , \qquad (4)$$

где γ – корень уравнения

$$\frac{Q}{4\pi}\mathrm{e}^{-\gamma^2} = \gamma^2\, a_M L\rho\ , \qquad (5)$$

где a_M – коэффициент температуропроводности мерзлого грунта, м^2/ч; Q – тепловой поток, котрый возникает по всей длине опоры моста, ккал/м · ч; L – теплота, возникающая в процессе перехода талого грунта в мерзлый и наоборот, ккал/кг; ρ – масса льда, содержащегося в 1 м^3 мерзлого грунта, кг/м^3.

Дальнейшие исследования в характерных русловых отложениях (подрусловые таликовые песчаные и гравийные грунты высокой влажности) позволят определить геометрические характеристики массы грунта, намерзающего на опоры.

Библиографический список

1. Экологическая и техносферная безопасность. Научно-прикладные задачи и решения : монография / под общей редакцией Научного совета ГНИИ «Нацразвитие». – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2024. – 80 с. – ISBN 978-5-00213-407-6. – DOI 10.37539/240704.2024.56.58.001. – Текст : непосредственный.

2. Данильченко, С. Л. Развитие российской социально-экономической системы: вызовы и перспективы : монография / С. Л. Данильченко, А. Н. Фомичев, В. Н. Круглов [и др.] ; гл. ред. Э. В. Фомин ; Чувашский государственный институт культуры и искусств. – Чебоксары : Среда, 2024. – 200 с. – ISBN 978-5-907830-14-1. DOI 10.31483/a-10584. – Текст : непосредственный.

3. Качество жизни населения и экология : монография / Под общей редакцией Л. Н. Семерковой. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – 140 с. – Текст : непосредственный.

4. Алексеев, В. Р. Основные итоги изучения наледей на территории Сибири и Дальнего Востока / В. Р. Алексеев, Н. Ф. Савко, А. И. Сизиков // Зап. Забайкальского филиала Геогр. Об-ва СССР. – Чита. – Вып. 92, 1973. – С. 7–98. – Текст : непосредственный.

5. Ельчанинов, Е. А. Мероприятия по снижению пучения и осадки грунтов оснований горных и природоохранных сооружений в Забайкалье / Е. А. Ельчанинов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 86–91. – Текст : непосредственный.

6. Дашинимаев, З. Б. Устройство дренажных сооружений в районах вечной мерзлоты / З. Б. Дашинимаев, Н. П. Сигачев, К. А. Кирпичников // В сборнике : Образование – Наука – Производство. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чита, 2018. – С. 96–101. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Коннов Василий Иванович, к.т.н., доцент кафедры ««Строительство железных дорог и экономика строительства», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Забайкальский край, г. Чита, Россия, konnovvi54@mail.ru ;

Дацкая Мария Николаевна, студентка гр. СЖД.2-24-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Забайкальский край, г. Чита, Россия;

Вершинина Елизавета Евгеньевна, студентка гр. СЖД.2-24-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Коннов В. И., Лемехова В. А., Васильченко Д. А.

ОЦЕНКА РАБОТЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПОДУШКИ

В статье даны рекомендации по строительству теплоизоляционных подушек. Очень важно принимать такие их размеры, чтобы выполнялось условие: сумма мощностей фундамента $h_Ф$ *и промерзающего слоя грунта* $h_{ПР}$ *под ним должна быть меньше мощности сезоннопромерзающего слоя в естественных условиях* $h_{ест}$. *Это условие позволяет уменьшить или совсем прекратить процесс наледеобразования у фундаментов труб, малых мостов, других сооружений, расположенных в зонах возникновения наледей. Предложена формула для определения толщины теплоизоляционной подушки.*

Ключевые слова: развитие наледей, водоносный слой, зоны вечной мерзлоты, теплоизоляционные подушки, фундаменты, грунтовые воды.

Практикой подтверждается, что исключение образования наледей у фундаментов и железнодорожных насыпей, в отдельных случаях, вполне возможно, если выполнить строительство теплоизоляционных подушек [1–6].

На наледных участках не рекомендуется применять сплошные массивные фундаменты. При положительных критериях наледности их устройство неизбежно приводит к развитию наледного процесса. На Рисунке показан бугор наледи, который прилегает к железнодорожной насыпи. Его высота составляет 3,62 м.



Рисунок. Бугор наледи, прилегающий к железнодорожной насыпи

На наледных участках более целесообразно применять облегченные и свайные фундаменты для обеспечения одинаковой интенсивности промерзания грунта, как в бытовых условиях, так и под фундаментом трубы, с теплоизоляционными подушками. Должно выполняться условие: сумма мощностей фундамента h_{Φ} и промерзающего слоя грунта $h_{\text{ПР}}$ под ним должна быть меньше мощности сезоннопромерзающего слоя в естественных условиях $h_{\text{ест}}$. Могут использоваться деревянные подушки (настил из брусьев), подушки из уплотненного торфа или искусственного теплоизолятора (быстротвердеющая пена, пенопласты и т. п.). Установленные лабораторным путем физические характеристики указанных материалов, с учетом работы их в конструкции, приведены в Таблице.

Таблица

Физические характеристики некоторых теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Объемный вес, кг/м^3	Влажность, %	Льдистость	Коэффициент теплопроводности материала, ккал/м·ч·град		Удельная теплоемкость материала, ккал/кг·град	
				талого	мерзлого	талого	мерзлого
Торф нарушенной структуры, уплотненный	1000 (180–200∗)	82–85	0,9	0,40	0,60	0,80	0,60
Древесина свежей рубки	350	100	0,6	0,30	0,40	0,65	0,49
Быстротвердеющая пена на фенолформальдегидной смоле марки Б	100–150	67–62	0,9	0,10–0,12	0,20–0,25	0,80	0,65

Примечание. 1. В скобках со значком ∗ приведены значения объемного веса скелета уплотненного торфа. 2. Расход материалов для получения 1 м^3 рекомендуемой быстротвердеющей пены следующий: фенолформальдегидная смола марки Б (ТУ МХП 4158-54) – 40 кг; поверхностно-активное вещество ОП-7 (ГОСТ 8433-57) – 1,2 кг; алюминиевая пудра ПАК-4 (ГОСТ 5494-50) 0,8 кг; бензосульфокислота (ТУ ГАПУ-25-66) – 5,8 кг; диэтильгликоль – ДГ (ГОСТ 10136-62) – 1,9 кг; ортофосфорная кислота (ГОСТ 10678-63) – 2,3 кг.

Толщину теплоизоляционной подушки рекомендуется определять по формуле

$$H_{\text{П}} = 1 - (h_{\text{ПР}} + h_{\Phi} - h_{\text{ест}}) \sqrt{\lambda_{\text{ТС}} A_{\text{ГР}} / \lambda_{\text{ГР}} A_{\text{ТС}}} \ ,$$

где $\lambda_{\text{ТС}}$ и $\lambda_{\text{ГР}}$ – соответственно теплопроводности теплоизоляционного слоя (подушки) и грунта водоносного слоя в мерзлом состоянии; $\lambda_{\text{ГР}}$ = 3 ккал/м·ч·град; $A_{\text{ТС}}$ и $A_{\text{ГР}}$ – соответственно, количество скрытой теплоты льдообразования в единице объема материала теплоизоляционного слоя и грунта водоносного слоя, ккал/м^3.

Если окажется, что величина $h_Ф + H_П$ будет больше, чем расстояние от поверхности до зеркала грунтовых вод, то необходимо уменьшить глубину заложения фундамента (поднять фундамент и сделать более мощную отмостку русла) с таким расчетом, чтобы расстояние между основанием подушки и зеркалом грунтовых вод было не менее 0,2–0,3 м.

Часто при высоком уровне залегания грунтовых вод не удается выполнить изложенные требования. В этих случаях фундамент трубы следует проектировать по обычным нормам, но предусматривать для отвода наледной воды утепленные лотки. Такие же лотки необходимо устраивать, когда труба проектируется на постоянно действующем наледном водотоке.

Одним из вариантов ликвидации наледей у труб может быть их проектирование совместно с противоналедными сооружениями. Например, совместно с мерзлотным или наледным поясами. Такой вариант проектирования будет очевидно наиболее целесообразным, когда мощность водоносного слоя мала (глубина залегания водоупора не превышает глубины промерзания наледного лога в естественных условиях).

Библиографический список

1. Экологическая и техносферная безопасность. Научно-прикладные задачи и решения : монография / под общей редакцией Научного совета ГНИИ «Нацразвитие». – Санкт-Петербург : ГНИИ «Нацразвитие», 2024. – 80 с. – ISBN 978-5-00213-407-6. – DOI 10.37539/240704.2024.56.58.001. – Текст : непосредственный.

2. Данильченко, С. Л. Развитие российской социально-экономической системы: вызовы и перспективы : монография / С. Л. Данильченко, А. Н. Фомичев, В. Н. Круглов [и др.] ; гл. ред. Э. В. Фомин ; Чувашский государственный институт культуры и искусств. – Чебоксары : Среда, 2024. – 200 с. – ISBN 978-5-907830-14-1. DOI 10.31483/a-10584. – Текст : непосредственный.

3. Качество жизни населения и экология : монография / Под общей редакцией Л. Н. Семерковой. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – 140 с. – Текст : непосредственный.

4. Алексеев, В. Р. Основные итоги изучения наледей на территории Сибири и Дальнего Востока / В. Р. Алексеев, Н. Ф. Савко, А. И. Сизиков // Зап. Забайкальского филиала Геогр. Об-ва СССР. – Чита. – Вып. 92, 1973. – С. 7–98. – Текст : непосредственный.

5. Ельчанинов, Е. А. Мероприятия по снижению пучения и осадки грунтов оснований горных и природоохранных сооружений в Забайка-

лье / Е. А. Ельчанинов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 86–91. – Текст : непосредственный.

6. Дашинимаев, З. Б. Устройство дренажных сооружений в районах вечной мерзлоты / З. Б. Дашинимаев, Н. П. Сигачев, К. А. Кирпичников // В сборнике : Образование – Наука – Производство. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чита, 2018. – С. 96–101. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Коннов Василий Иванович, к.т.н., доцент кафедры «Строительство железных дорог и экономика строительства», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Забайкальский край, г. Чита, Россия, konnovvi54@mail.ru ;

Лемехова Валентина Анатольевна, ст. преподаватель кафедры «Строительство железных дорог и экономика строительства», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Забайкальский край, г. Чита, Россия;

Васильченко Дмитрий Алексеевич, студент гр. СЖД.2-24-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Круглова Е. А., Докучаев В. Е.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОВОЗА 3ЭС5К ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕГРАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Проблема надёжности аккумуляторных батарей электровоза 3ЭС5К требует комплексного решения, т. к. напрямую влияет на эффективность работы железнодорожного транспорта, экономические показатели эксплуатации, безопасность движения, качество транспортных услуг. Необходимо разработать меры по повышению надёжности АБ и минимизации последствий их отказов для обеспечения бесперебойной работы железнодорожного транспорта.

В работе было проведено комплексное исследование проблем эксплуатации аккумуляторных батарей электровоза 3ЭС5К и предложены научно обоснованные технические решения для их устранения.

Ключевые слова: солнечные панели, электровоз, аккумуляторная батарея (АБ), система энергопотребления, климатические условия.

В условиях роста энергопотребления и стремления к снижению эксплуатационных затрат особую актуальность приобретают исследования по внедрению альтернативных источников энергии в транспортной отрасли. Железнодорожный транспорт, как один из крупнейших потребителей электроэнергии, заинтересован в повышении энергоэффективности и снижении нагрузки на основные энергосистемы.

Забайкальский край обладает высоким потенциалом солнечной энергии: регион характеризуется большим количеством солнечных дней в году и высоким уровнем инсоляции. По данным метеорологических наблюдений, среднегодовое количество солнечной радиации в Забайкалье достигает 1300–1500 кВт·ч/м², а число солнечных часов составляет около 2500–2800 в год – это выше среднероссийских показателей [1–5].

Интеграция солнечных панелей в энергосистему электровоза 3ЭС5К («Ермак») поможет: снизить нагрузку на основную энергосистему локомотива; сократить эксплуатационные расходы за счёт частичного замещения энергии из контактной сети; уменьшить углеродный след железнодорожного транспорта.

Цель работы – разработать и обосновать систему интеграции солнечных панелей в энергоснабжение цепей электровоза 3ЭС5К, для дополнительного питания аккумуляторных батарей, с учётом климатических условий Забайкальского края и эксплуатационных особенностей локомотива.

Результаты исследования могут быть использованы: для пилотного внедрения системы на одном электровозе с последующим мониторингом; при модернизации парка локомотивов ЗабЖД; для разработки аналогичных решений на других участках железных дорог с высоким уровнем солнечной радиации.

Таким образом, интеграция солнечных панелей для питания АБ электровоза 3ЭС5К технически возможна, но требует комплексного подхода к расчётам, выбору оборудования и реализации системы управления.

Проблема эксплуатации аккумуляторных батарей электровоза 3ЭС5К и их влияние на работу железнодорожного транспорта

Аккумуляторные батареи являются критически важным элементом электровоза 3ЭС5К, обеспечивающим работу систем управления, освещения, сигнализации и вспомогательных машин. Однако их эксплуатация сопряжена с рядом серьезных проблем, приводящих к значительным экономическим потерям [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**–6].

Анализ статистических данных показывает следующие типичные неисправности АБ: глубокая разрядка батареи; межбанковое замыкание;

механические повреждения (излом перемычек, разрушение пластин); нарушение целостности изоляционных элементов; снижение емкости и плотности электролита; окислительные процессы на контактных элементах;

Неисправности АБ создают серьезные риски для безопасности движения: нарушение работы систем управления; отказ систем сигнализации; проблемы с работой вспомогательных машин; ограничение функциональности систем безопасности; снижение надежности тягового привода.

Актуальность решения проблемы обусловлена, ростом интенсивности железнодорожных перевозок, повышением требований к надежности подвижного состава, необходимостью снижения эксплуатационных затрат, важностью обеспечения безопасности движения, потребностью в повышении энергоэффективности.

Система энергопотребления электровоза 3ЭС5К демонстрирует высокую степень надежности и эффективности, однако имеет определенные ограничения, которые могут быть компенсированы за счет интеграции альтернативных источников энергии: АБ обеспечивают стабильное питание критически важных систем, но подвержены влиянию внешних факторов (температура, интенсивность использования); Цепи управления работают в тесной связке с системой подзаряда, что требует точного контроля параметров; Вспомогательные системы создают дополнительную нагрузку на АБ при отключении основного питания.

Анализ энергопотребления и возможностей интеграции солнечных панелей

Анализ энергопотребления аккумуляторных батарей (АБ) электровоза 3ЭС5К и возможностей их интеграции с солнечными панелями требует учёта нескольких ключевых факторов: технических характеристик электровоза, параметров АБ, климатических условий эксплуатации и особенностей работы солнечных панелей.

АБ на электровозе 3ЭС5К обеспечивают питание систем управления, освещения, сигнализации, радиостанции, а также поддерживают работу вспомогательных машин (например, компрессоров, вентиляторов) при отключении основного питания от контактной сети.

Точное энергопотребление зависит от режима работы электровоза, нагрузки на вспомогательные системы и состояния АКБ.

Некоторые факторы, влияющие на энергопотребление:

– Интенсивность использования вспомогательных машин. Например, работа компрессоров, вентиляторов обдува двигателей, системы кондиционирования в кабине увеличивает нагрузку на АКБ;

– Состояние АКБ. Глубокая разрядка, нарушение целостности резиновых чехлов, окисление контактных элементов снижают ёмкость и увеличивают энергопотребление;

– Температурные условия. Холодная погода может повышать энергопотребление из-за необходимости дополнительного обогрева элементов системы.

Солнечные панели могут использоваться для частичной компенсации энергопотребления АКБ, особенно в условиях длительной стоянки или при работе в режимах, когда основное питание от контактной сети недоступно.

Преимущества интеграции: снижение зависимости от внешних источников энергии; возможность продления срока службы АКБ за счёт уменьшения глубины разряда; экологическая выгода за счёт использования возобновляемых источников энергии.

Оценка потенциала солнечной энергии

Забайкальский край выделяется высоким уровнем солнечной активности и продолжительностью солнечного сияния. Это обусловлено рядом климатических и географических факторов [1–4].

Таблица 1

Сезонные особенности климата

Зимний период	Летний период
Длительные периоды низких температур	Относительно короткое лето (80–140 дней)
Частые перепады температур	Резкие перепады дневных и ночных температур
Повышенная запыленность воздуха	Возможность пыльных бурь
Возможность образования наледи на поверхностях	Интенсивная солнечная активность
Короткий световой день	

В Забайкальском крае продолжительность солнечного сияния достигает 2000–3000 часов в год. Для сравнения: в Сочи продолжительность солнечного сияния составляет около 2154 часов в год. Инсоляция – это количество солнечной энергии, поступающей на поверхность. В Забайкальском крае этот показатель значительно превышает среднероссийские и европейские значения.

Таким образом, сочетание климатических условий, географического положения и рельефа создаёт в Забайкальском крае благоприятные условия для высокой солнечной активности и продолжительного сол-

нечного сияния. Это делает регион перспективным для развития солнечной энергетики.

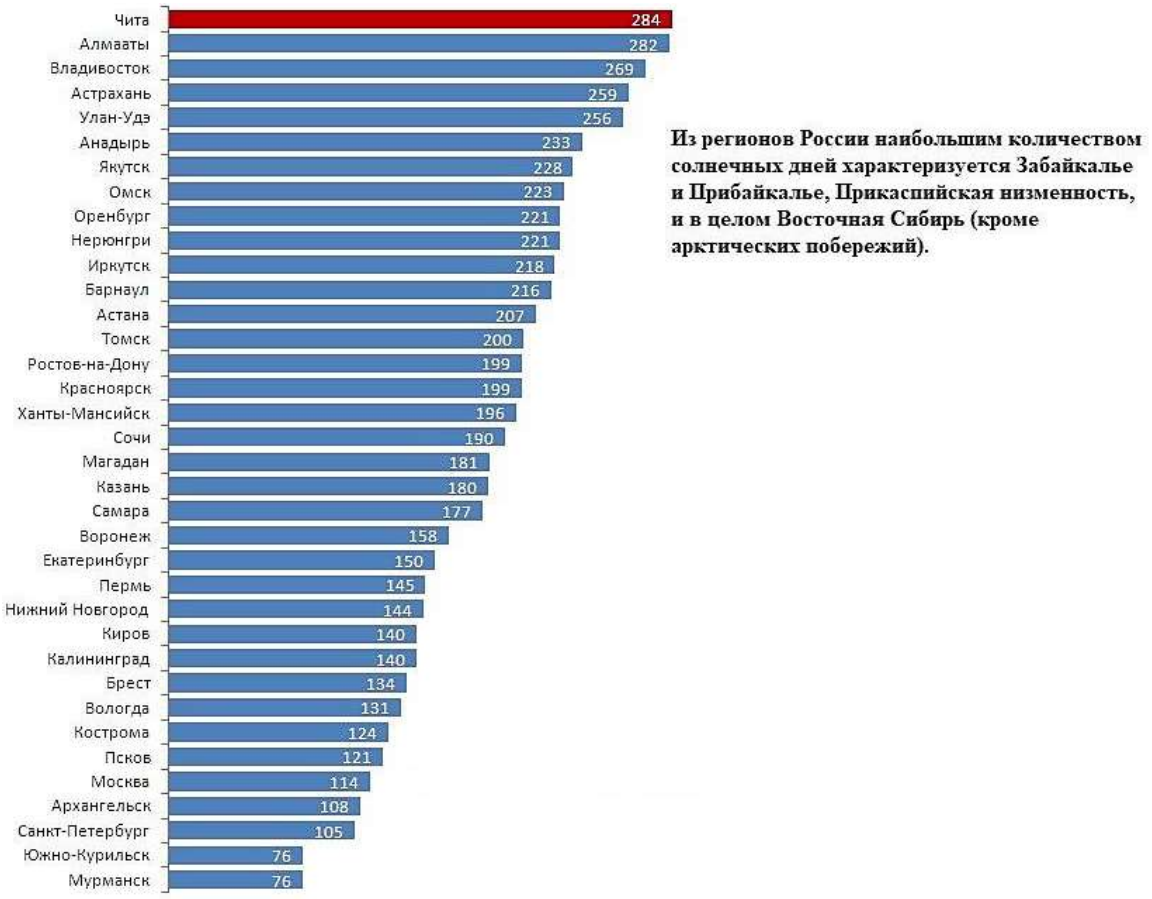


Рис. 1. Количество солнечных дней

При правильном проектировании и учете местных особенностей возможно эффективное применение солнечной энергии для подзарядки аккумуляторных батарей электровоза 3ЭС5К.

Преимущества внедрения солнечных панелей: снижение нагрузки на АКБ и увеличение срока их службы; частичная компенсация энергопотребления вспомогательных систем; экологическая эффективность за счет использования возобновляемых источников.

Установка солнечных панелей потенциально может помочь в следующих аспектах: подзарядка аккумуляторов в режиме простоя. Когда электровоз находится в депо или на стоянке, солнечные панели могут генерировать электроэнергию и подзаряжать аккумуляторы, компенсируя саморазряд и поддерживая оптимальный уровень заряда. Питание вспомогательных систем.

Разработка системы интеграции солнечных панелей

Электровоз 3ЭС5К («Ермак») изначально не проектировался с учётом использования солнечных панелей, т. к. его энергосистема основана на получении электроэнергии от контактной сети через токоприёмники. Однако теоретически можно рассмотреть вариант размещения солнечных панелей на этом локомотиве, учитывая его конструкцию и доступные поверхности.

Рассмотрим возможную схему размещения панелей:

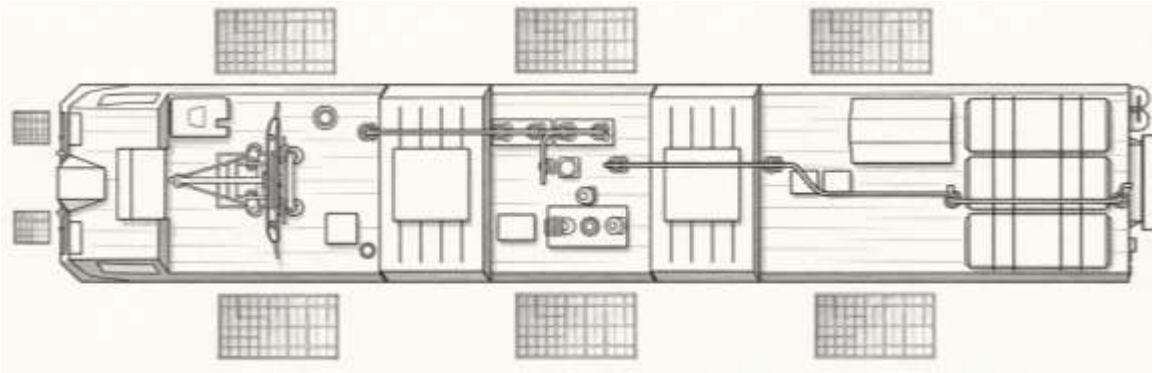


Рис. 2. Размещение солнечных панелей на электровозе. Секция 1

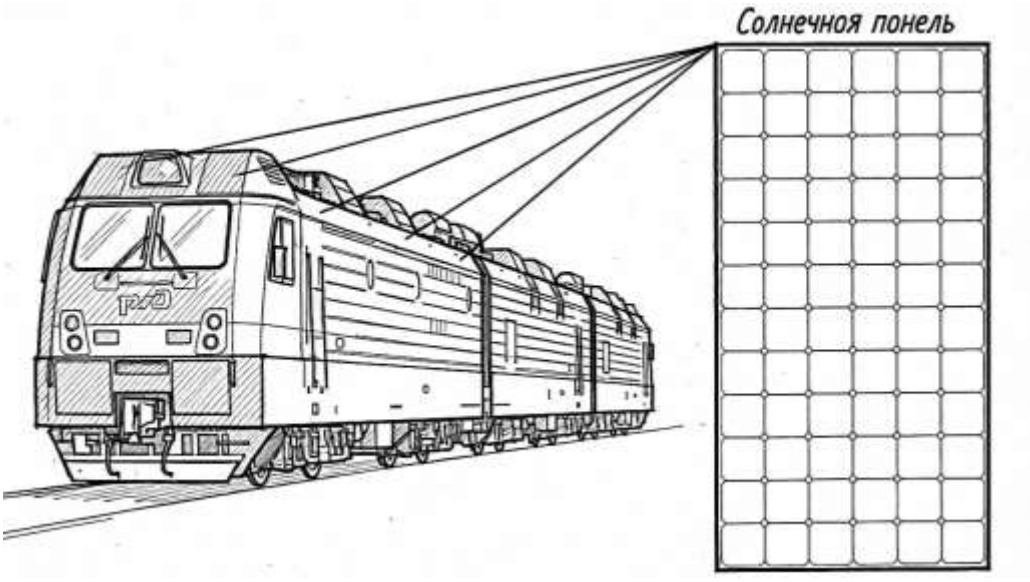


Рис. 3. Схема размещения СП

Согласно данному расположению панелей, мы можем сделать вывод о том, что размеры солнечных панелей будут ограничены конструкционными освоенностями электровоза [3–6].

Возможное количество панелей для трехсекционного локомотива: панели на лобовых частях, 4 штуки, размером 300х300 мм; панели на боковых стенках электровоза, 18 штук, размером 300*3000 мм.

Расположение панелей

На рис. 3 видно, что солнечные панели размещены, на боковых частях крыши электровоза (2 панелей – по обеим сторонам прожектора, 6 панелей – по боковым частям стен электровоза).

Такое распределение обеспечивает:

– максимальную площадь захвата солнечной энергии за счёт использования разных плоскостей;

– равномерное распределение нагрузки на конструкцию электровоза;

– минимизацию затенения панелей друг другом при движении по маршруту.



Рис. 4. Макет расположение солнечных панелей на электровозе

Схема подключения. На рис. 5 рассмотрим схему подключения солнечных панелей.

На схеме красными линиями показан путь передачи электроэнергии от панелей к потребителям. Видна следующая последовательность:

1) Солнечные панели (преобразуют солнечную энергию в постоянный ток);

2) Сборный узел/шина (объединяет энергию от всех панелей – центральная часть схемы);

3) Контроллер заряда (регулирует подачу энергии, предотвращает перезаряд аккумуляторов);

4) Аккумуляторные батареи (накапливают энергию для использования в пасмурную погоду или ночью – правая часть схемы);

5) Система распределения энергии (подача на бортовые системы электровоза: освещение, управление, вспомогательные механизмы).

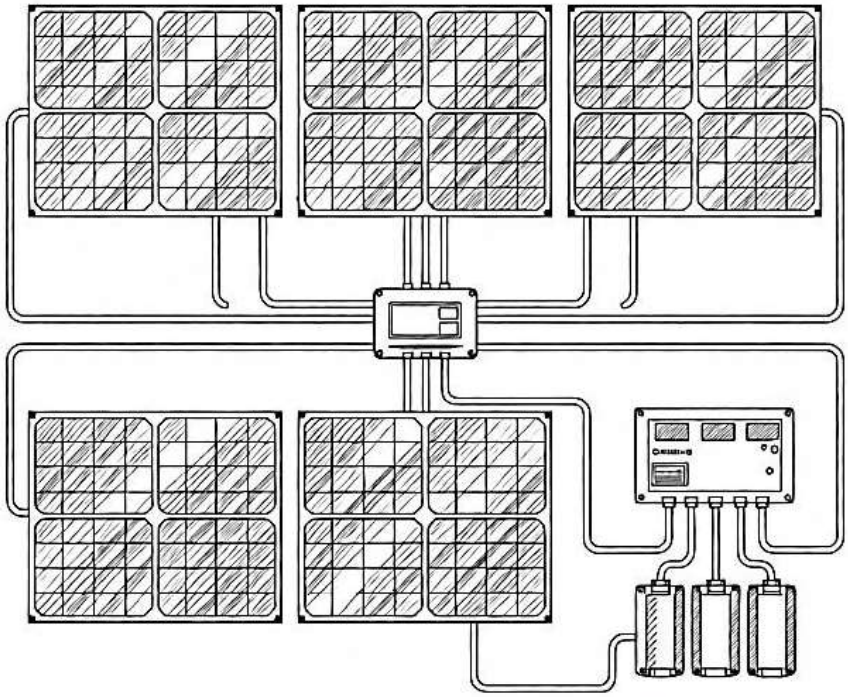


Рис. 5. Схема подключения СЧ

Предлагается использовать монокристаллические солнечные панели (от компании DELTA Solar) – это высокоэффективные модули, изготовленные из кремния, выращенного в виде единого кристалла. Они отличаются высоким КПД (до 25 % и более), долговечностью (срок службы – 30 лет и более) и компактными размерами при высокой мощности. Такие панели особенно подходят для систем, где важна максимальная выработка энергии на ограниченной площади, например, для интеграции в электровозы.

Таблица 2

Основные электрические параметры

Параметры	Характеристики
Номинальная мощность (Pmax)	300 Вт
Номинальное напряжение (Vnom)	24 В
Напряжение холостого хода (Voc)	36,6 В
Ток короткого замыкания (Isc)	13,8 А
Рабочее напряжение (Vmp)	24 В
Рабочий ток (Imp)	12,5 А

Примем среднее значение напряжения для положительных температур – 62 В. Тогда требуемая мощность составит:

Формула для расчета требуемой мощности:

$$P = U \times I = 62 \times 31 = 1922 \text{ Вт},$$

где U – напряжение батареи;

I – максимальный ток зарядки.

$P = 62 \times 31 = 1922$ Вт.

Это значение получено при условии, что батарея частично разряжена и требует максимального тока подзаряда. Если батарея близка к полному заряду, ток подзаряда снижается, и требуемая мощность уменьшается.

Сравнение с мощностью солнечных панелей. Мощность солнечных панелей – около 2358 Вт. Это превышает расчётную мощность, необходимую для подзаряда аккумуляторных батарей электровоза 3ЭС5К в режиме максимального тока (1922 Вт). Таким образом, теоретически мощности панелей достаточно для поддержания заряда батареи.

Заключение. Разработанная система солнечных панелей технически способна обеспечивать поддержание заряда аккумуляторных батарей и питание вспомогательных цепей электровоза в дневное время, особенно в летний период при максимальной инсоляции. Система солнечных панелей является эффективным решением для частичного обеспечения энергопотребления электровоза, особенно в условиях Забайкальского края при оптимальном использовании солнечной энергии. Внедрение солнечных панелей является перспективным направлением развития системы энергосбережения электроподвижного состава.

Библиографический список

1. Лебедев, А. С. Выбор оптимальной технологии альтернативного энергообеспечения для предприятия АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» Воронежской области / А. С. Лебедев, Д. Г. Саликов // Интеграция, эволюция, модернизация: пути развития науки и образования : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, г. Саратов, 18 декабря 2023 г. – Стерлитамак : Общество с ограниченной ответственностью «Агентство международных исследований», 2023. – С. 194–200. – Текст : непосредственный.

2. Давлатзода, А. Н. Оценка эффективности солнечных панелей на крышах в условиях городской застройки / А. Н. Давлатзода, Б. В. Худоназаров, Д. С. Силемонов // Бутаковские чтения : сборник ста-

тей IV Всероссийской с международным участием молодёжной конференции, Томск, 10–12 декабря 2024 г. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 482–485. – Текст : непосредственный.

3. Поливаев, О. И. Трактора на солнечной энергетике / О. И. Поливаев, А. В. Божко, О. С. Ведринский, А. С. Абакумов // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 2026. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. – 2026. – С. 122–126. – Текст : непосредственный.

4. Веселова, А. А. Солнечные батареи от прошлого к будущему / А. А. Веселова, В. Г. Мозговая // VI конференция молодежного научно-инженерного центра для школьников, студентов, аспирантов и молодых учёных : материалы конференции. В 2-х томах, г. Санкт-Петербург, 08–09 декабря 2025 г. – Выпуск 136. – Том 1. – г. Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 2026. – С. 163–166. – Текст : непосредственный.

5. Ищенко, Е. С. Зависимость емкости аккумуляторной батареи от состояния солнечной энергии для автономных электростанций / Е. С. Ищенко, А. П. Ищенко // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий : материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, г. Саратов, 23 декабря 2024 г. – г. Саратов : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 2025. – С. 120–125. – Текст : непосредственный.

6. Яковкина, А. В. Использование солнечных панелей для электроснабжения вагона-лаборатории / А. В. Яковкина, А. С. Нефедов // Энергетик. – 2024. – № 3. – С. 24–28. – Текст : непосредственный.

Информация об авторах:

Круглова Елена Александровна, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: helenuys@mail.ru ;

Докучаев Владислав Евгеньевич - студент группы ПСЖ.3-20, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: dokuchaev.1999@list.ru.

Лапшина Н. В.

ВЛИЯНИЕ КОНЕЧНОЙ СКОРОСТИ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА НА ПРОЦЕСС ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В ТРУБОПРОВОДЕ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ

В работе рассматривается процесс охлаждения воды в надземном трубопроводе с утеплением в условиях отрицательных температур наружного воздуха. Приводятся результаты анализа влияния конечной скорости конвективного теплообмена между водой и внутренней поверхностью стенки трубопровода на динамику охлаждения воды. Для характерных значений геометрических параметров трубопровода, температур воды и внешней среды выполнены расчёты зависимости средней температуры воды от времени и полного времени её охлаждения. Результаты выполненных расчётов сравниваются с результатами, полученными ранее в рамках упрощённой модели теплообмена.

Ключевые слова: надземный трубопровод, конвективный теплообмен, математическая модель, граничное условие, динамика охлаждения.

Важной составляющей частью железнодорожной инфраструктуры являются системы водоснабжения. В условиях отрицательных температур окружающей среды охлаждение воды в трубопроводах может приводить к их внутреннему промерзанию. Для предупреждения разрушительных последствий необходимо знать время, через которое начнётся образование льда на внутренней поверхности трубопровода после прекращения движения в нём воды. В существующих теоретических работах [1–4] конвективный теплообмен внутри трубопровода с теплоизоляцией либо вообще не рассматривается, либо описывается как бесконечно быстрый. В настоящей работе рассматривается влияние конечной скорости теплообмена на процесс охлаждения воды в надземном трубопроводе с теплоизоляцией.

В работе [4] для описания процесса остывания воды в трубопроводе сформулирована квазистационарная форма модели средних температур:

$$c_1\rho_1\frac{dT_1}{dt}=\frac{2}{R_1}\lambda_2\left.\frac{\partial T_2}{\partial r}\right|_{r=R_1}, \qquad (1)$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}r\frac{\partial T_2}{\partial r}=0,\ R_1<r<R_2, \qquad (2)$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial T_3}{\partial r} = 0 , \; R_2 < r < R_3 . \qquad (3)$$

Здесь $T_1(t)$ – средняя по объёму температура воды в трубопроводе, r – радиальная переменная, t – время, $T_2(r,t)$ – температура стенки трубы, $T_3(r,t)$ – температура теплоизолятора, ρ_1 , c_1 – плотность и удельная теплоёмкость воды, λ_2 – теплопроводность материала стенки трубы, R_1 и R_2 – внутренний и наружный радиусы стенки трубопровода, R_3 – внешний радиус теплоизоляции. При записи начальных условий полагалось, что $T_1(0) = T_2(r,0) = T_3(r,0) = T_0$, где T_0 – температура всех частей трубопровода в исходном состоянии. В качестве граничных условий использовались соотношения, выражающие равенство температур и потоков тепла на границах слоёв водовода:

$$T_1(t) = T_2(R_1,t) , \; T_3(R_3,t) = T_{ex} , \qquad (4)$$

$$T_2(R_2,t) = T_3(R_2,t), \; \lambda_2 \left.\frac{\partial T_2}{\partial r}\right|_{r=R_2} = \lambda_3 \left.\frac{\partial T_3}{\partial r}\right|_{r=R_2} . \qquad (5)$$

Здесь T_{ex} – температура окружающей среды. Условия (4) соответствуют случаю, когда процессы конвективного теплообмена между водой в трубопроводе и стенками трубы, а также между теплоизоляцией и внешней средой происходят настолько быстро, что температуры контактирующих сред оказываются одинаковыми. В настоящей работе рассматривается влияние конечной скорости процесса теплообмена на динамику охлаждения воды в трубопроводе. В этом случае граничные условия (4) должны заменяться соотношениями, выражающими закон теплообмена Ньютона:

$$-\lambda_2 \left.\frac{\partial T_2}{\partial r}\right|_{r=R_1} = \alpha_1 \left(T_1(t) - T_2(R_1,t)\right) , \qquad (6)$$

$$-\lambda_3 \left.\frac{\partial T_3}{\partial r}\right|_{r=R_3} = \alpha_3 \left(T_3(R_3,t) - T_{ex}\right) . \qquad (7)$$

Здесь $\alpha_1 = \lambda_1 Nu_1/2R_1$, $\alpha_3 = \lambda_a Nu_3/2R_3$ – коэффициенты теплоотдачи, Nu_1 и Nu_3 – критерии подобия Нуссельта, λ_1 , λ_a и λ_3 – коэффициенты теплопроводности воды, воздуха и материала теплоизолятора соответ-

ственно. При расчётах в данной работе использовались средние значения чисел Nu_1 из [5] и значения чисел Nu_3 из [1]. При постоянных значениях всех теплофизических коэффициентов решение уравнений (1)-(3) имеет вид

$$T_{1k}(t) = T_{ex} + (T_0 - T_{ex})\exp(-A_k t)\ ,\ k = 1, 2. \qquad (8)$$

Здесь $k = 1$ соответствует случаю бесконечно быстрого теплообмена, когда коэффициенты теплоотдачи и числа Нуссельта имеют бесконечно большие значения, а в качестве граничных условий используются соотношения (4)-(5). При этом $T_1 = T_{11}$ и

$$A_1 = \frac{2\lambda_3}{\rho_1 c_1 R_1^2 \Delta_1}\ ,\ \Delta_1 = \ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right) + \frac{\lambda_3}{\lambda_2}\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right).$$

Значение $k = 2$ соответствует случаю конечной скорости теплообмена и, соответственно, использованию граничных условий (5)-(7). При этом $T_1 = T_{12}$ и

$$A_2 = \frac{2\lambda_3}{\rho_1 c_1 R_1^2 \Delta_2}\ ,\ \Delta_2 = \Delta_1 + \frac{2\lambda_3}{\lambda_1 Nu_1} + \frac{2\lambda_3}{\lambda_a Nu_3}\ .$$

Решение (8) позволяет найти время охлаждения воды в трубопроводе t_{ph} до температуры фазового перехода T_{ph} . Приравнивая правую часть (8) к значению T_{ph} и решая полученное уравнение, получаем

$$t_{ph,k} = \frac{\rho_1 c_1 R_1^2 \Delta_k}{2\lambda_3}\ln\left(\frac{T_0 - T_{ex}}{T_{ph} - T_{ex}}\right),\ k = 1, 2. \qquad (9)$$

Соотношения (8)-(9) позволяют выполнить моделирование процесса охлаждения в широком диапазоне значений параметров трубопровода. В качестве примера на рис. 1–3 приведены результаты моделирования динамики охлаждения воды в стальном трубопроводе с теплоизоляцией минеральной ватой для значений геометрических параметров $R_1 = 5$ см, $R_2 = 5{,}8$ см, $R_3 = 11{,}8$ см. Характерные значения всех теплофизических величин заимствованы из [6]. Рис. 1 и 3 показывают, что учёт конечности скорости теплообмена внутри трубопровода замедляет процесс охлаждения воды. Незначительная разница в значениях температуры воды, полученных с учётом и без учёта конечности скорости

теплообмена, постепенно нарастает со временем. Как видно из рис. 2, относительная погрешность упрощённого подхода $\delta = (T_{12} - T_{11})/T_{12}$ уже в середине промежутка времени необходимого для полного охлаждения достигает 10 % и далее быстро нарастает.

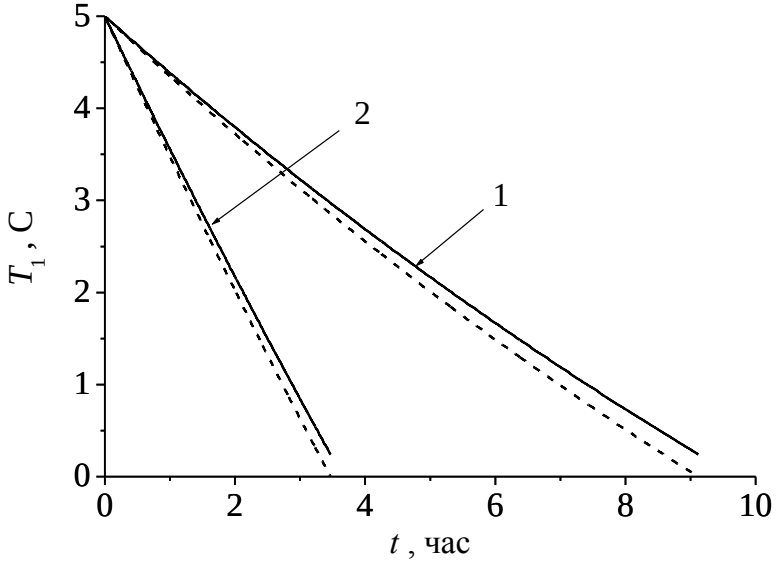


Рис. 1. Зависимость средней температуры воды в трубопроводе T_1 от времени в процессе охлаждения при разной температуре внешней среды: 1 – T_{ex} = -10 °C, 2 – T_{ex} = -30 °C . Сплошная линия – расчёт с учётом конечной скорости теплообмена (k = 2), пунктир – без учёта конечной скорости (k = 1).

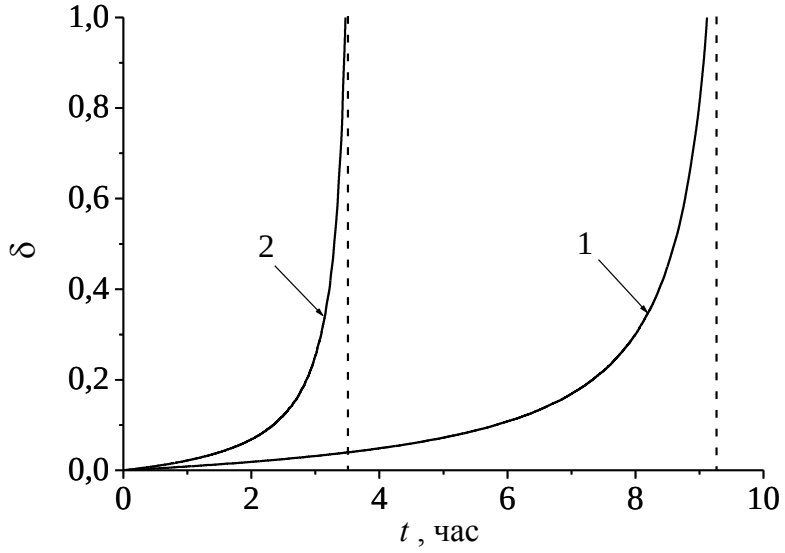


Рис. 2. Временная зависимость относительной погрешности δ при расчёте средней температуры T_1 упрощённым методом с граничным условием (4) при разной температуре внешней среды: 1 – T_{ex} = -10 °C, 2 – T_{ex} = -30 °C . Пунктир – асимптотика, соответствующая времени охлаждения воды до 0 °C.

На рис. 3 приведены результаты расчётов полного времени охлаждения воды в трубопроводе до температуры фазового перехода t_{ph} в широком диапазоне значений температуры окружающей среды T_{ex} и начальных значений температуры воды T_0 . Как видно из рисунка, учёт конечности скорости теплообмена внутри трубопровода относительно слабо сказывается на времени охлаждения воды t_{ph} . Отличие от результатов, полученных при использовании упрощённого подхода, основанного на граничных условиях (4), не превышает 6 %.

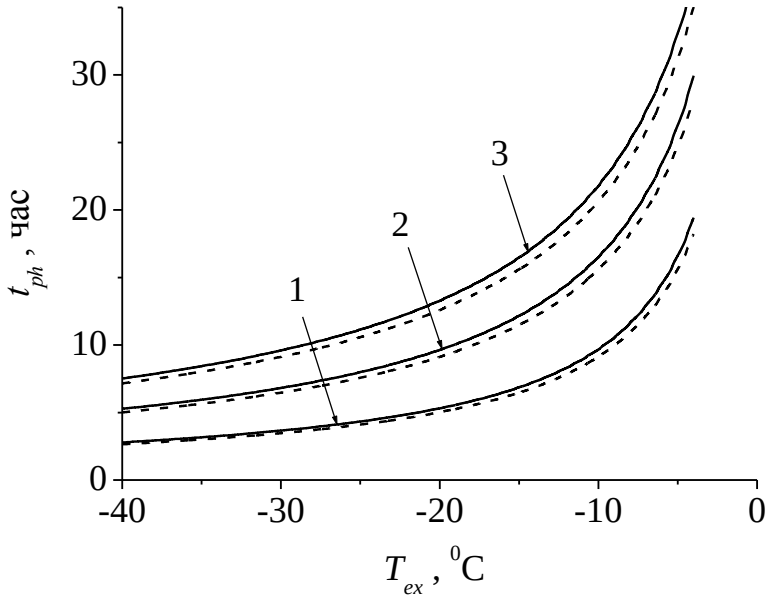


Рис. 3. Зависимость времени охлаждения воды в трубопроводе до температуры фазового перехода t_{ph} от температуры окружающей среды T_{ex} для различных значений начальной температуры T_0: 1 – 5 ℃, 2 – 10 ℃, 3 – 15 ℃. Сплошная линия – расчёт с учётом конечной скорости теплообмена (k = 2), пунктир – без учёта конечной скорости (k = 1).

Таким образом, в работе рассмотрен процесс охлаждения воды в надземном трубопроводе с теплоизоляцией в условиях отрицательных температур окружающей среды. Показано, что учёт конечной скорости конвективного теплообмена между водой и внутренней поверхностью стенки трубопровода приводит к увеличению расчётного времени охлаждения воды. При этом, в процессе охлаждения, на последней его стадии, средняя температура воды может сильно отличаться от значений, полученных в упрощённых моделях, использовавшихся ранее. Вместе с тем, учёт конечности значений чисел Нуссельта относительно слабо, в пределах 6 %, сказывается на результатах расчётов полного времени охлаждения воды до температуры фазового перехода.

Библиографический список

1. McDonald, A. Mathematical simulation of the freezing time of water in small diameter pipes / A. McDonald, B. Bschaden, E. Sullivan, R. Marsden // Applied Thermal Engineering. – 2014. – Vol. 73(1). – P. 142–153. – URL : http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.07.046. – Текст : электронный.

2. Parfentyeva, N. Solving the problem of pipeline freezing with respect to external heat exchange / N. Parfentyeva, K. Valancius, O. Samarin, S. Paulauskaite, J. Ciuprinskine // Mechanika. – 2015. – Vol. 21(5). – P. 393–396. – DOI: https://doi.org/10.5755/j01.mech.21.5.11411. – Текст : электронный.

3. Китаев, Д. Н. Температурный режим в магистральных стальных трубопроводах горячего водоснабжения при нарушениях циркуляции / Д. Н. Китаев, В. Ю. Хузин, В. И. Щербаков, Т. В. Щукина // Известия вузов. Строительство. – 2017. – № 3 (699). – С. 62–68. – Текст : непосредственный.

4. Лапшин, В. Ф. Расчёт времени охлаждения надземного водовода с теплоизоляцией в условиях отрицательных температур / В. Ф. Лапшин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21. – Вып. 1. – С. 103–112. – DOI: 10.20295/1815-588X-2024-01-103-112. – Текст : непосредственный.

5. Лапшин, В. Ф. Анализ тепловых процессов внутри охлаждаемого надземного водовода с теплоизоляцией / В. Ф. Лапшин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2026. – Вып. 1. – С. 185–195. – DOI : 10.20295/2223-9987-2026-1-185-195. – Текст : непосредственный.

6. Физические величины : справочник / Под редакцией И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – Москва : Энергоатомиздат. – 1991. – 1232 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Лапшина Наталия Валериановна, старший преподаватель кафедры «Высшая математика», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия, n.v.lapshina@mail.ru.

Ларченко А. В., Чивилев В. В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ПУТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОЛЕСО-РЕЛЬС

В статье рассмотрены вопросы совершенствования систем очистки пути с использованием комбинированного способа – пневматической очистки рельсов перед передней колесной парой электровоза, с одновременным применением импульсной пескоподачи. Проведен анализ существующих методов увеличения коэффициента сцепления в системе колесо-рельс, анализ статистики случаев боксования.

Ключевые слова: боксование, колесная пара, рельс, системы очистки пути, пневматическая очистка, импульсная пескоподача.

В настоящее время «Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года», определяется, что повышение весовых норм является одним из приоритетных направлений, позволяющих обеспечить возрастающие объемы перевозок грузов, повысить эффективность работы железных дорог [1].

Для повышения весовых норм необходимо чтобы максимальная сила тяги современных локомотивов реализовывалась полностью, в т. ч. были на сто процентов реализованы условия сцепления колеса с рельсом. Однако в эксплуатационных условиях значение коэффициента сцепления определяется множеством случайных факторов и может существенно отличаться от расчетного как в большую, так и в меньшую сторону.

На большинстве грузонапряженных направлений, в т. ч. и на Забайкальской железной дороге загруженность локомотивов по сцеплению приближается к предельной. На таких участках снижение коэффициента сцепления ниже расчетного значения очень часто приводит к боксованию, остановкам поездов, и соответственно, нарушению графика движения поездов.

Статистика случаев боксования колесных пар электровозов «Ермак» по Забайкальской железной дороге за 2025 г. (рис. 1) показывает, что боксованию больше подвержены поезда с весом более 6 тыс. тонн. Эта тенденция складывается, из-за того, что при ведении поезда с более высокими весами приходится реализовывать большую силу тяги, кроме этого, на ЗабЖД сложный рельеф-план и профиль пути, затяжные подъемы, кривые малого радиуса, что затрудняет вождение большегрузных поездов.

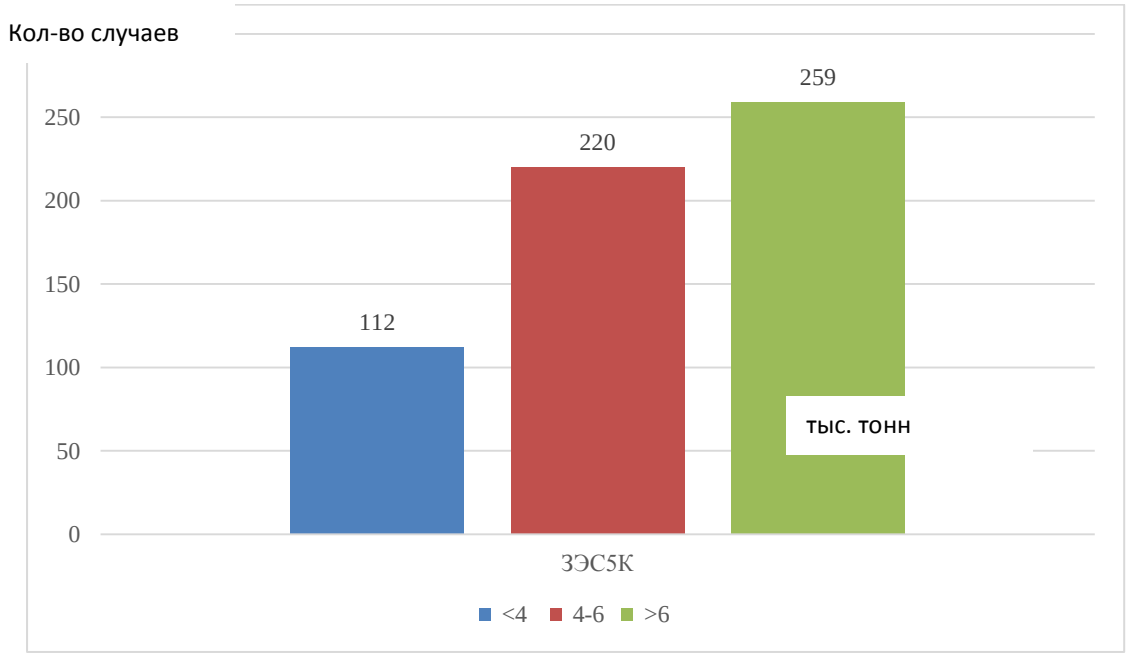


Рис. 1. Количество боксований электровозов «Ермак» по Забайкальской железной дороге за 2025 г. в зависимости от веса поезда

На реализацию максимальной силы тяги также оказывают влияние такие конструктивные особенности локомотива, как разница в диаметре бандажей колесных пар и характеристик ТЭД, способ возбуждения тягового электродвигателя, вид тяговых характеристик, неравномерная развеска локомотива и т. д.

Реализация предельных тяговых усилий, может приводить к срыву колесных пар в боксование и приводить к отказам технических средств. Значительные скорости боксования колесных пар электровозов приводят к повреждению тяговых электродвигателей – нарушаются коммутационные условия с возможностью появления кругового огня на коллекторе, размотка бандажей якорей из-за действия большой центробежной силы с дальнейшим повреждением обмоток якорей. При резком переходе от сцепления к боксованию и обратно происходят сильные динамические удары по моторноякорным подшипникам и зубчатой передаче. Также при боксовании происходит повышенный износ бандажей колесных пар и рельсов.

Поэтому предотвращение боксования – это одна из основных задач в локомотивном хозяйстве.

Для повышения коэффициента сцепления колеса с рельсом возможно применять как подсыпку песка, так и снижать загрязнение рельсового полотна. Загрязнение на поверхности катания рельс возникают из-за атмосферной влаги, опавших листьев, масляных загрязнений, пы-

ли, инея и т. д. Это приводит к боксованию электровозов при разгоне, остановке поездов на подъемах, увеличению тормозного пути и значительному износу колесных пар [2].

Современные методы решения этой проблемой не всегда применимы в связи с нарушением экологических и эксплуатационных требований, не всегда позволяют быстро прекратить боксование и предотвратить отказы технических средств.

Проведённый анализ существующих отечественных и зарубежных устройств по увеличению сцепления в системе колесо-рельс показал широкое разнообразие применяемых технологий. Их можно разделить на физико-химические, механические и инновационные бесконтактные методы.

В зарубежных странах применяются следующие системы:

- Системы нанесения гелей: на рельс наносится пастообразная смесь из геля-носителя, кварцевого песка и стальной крошки. Метод эффективен против вязких пленок от раздавленных листьев, но достаточно дорогой, повышает износ колес, рельс и загрязняет стрелочные переводы.
- Гидроочистка под большим давлением: устройство высокого давления (до 1000–1100 атмосфер) срезает грязь с рельса струей воды. Метод хорошо подходит для основной очистки путей, но есть и недостатки – сложно применять при низких температурах зимой из-за возможного обледенения и требует большого расхода воды.

В России в локомотивном хозяйстве применяется в основном пескоподача и модернизированная импульсная пескоподача, которая оптимизирует подачу кварцевого песка порциями в зависимости от степени боксования. При этом снижается расход песка на 30–40 %, но не избавляет от абразивного износа пары «колесо-рельс» и засорения щебеночного балласта.

Так же существует инновационный метод – это лазерная очистка, при котором лазерный луч испаряет любые органические и масляные загрязнения [3]. Такой способ обеспечивает полную чистоту, но имеет очень высокую стоимость оборудования, энергоемкость и чувствительность к большой вибрации локомотива.

В Таблице приведен сравнительный анализ технологий, применяемых для увеличения сцепления системы «колесо-рельс».

Одним из возможных решений по увеличению коэффициента сцепления колеса с рельсом является устройство пневматической очистки рельсов перед передней колесной парой электровоза, с одновременным применением импульсной пескоподачи. При такой системе работы воздушный поток и дозированный песок создают объединенный эффект и значительно повышают коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Таблица

Сравнительный анализ технологий

Технология	Эффективность очистки	Всесезонность	Капитальные затраты	Эксплуатационные расходы	Влияние на инфраструктуру
Воздушная очистка	Средняя / Высокая	Отличная	Низкие	Минимальные	Отсутствует
Гидроочистка	Отличная	Плохая (замерзает)	Высокие	Высокие	Риск размыва балласта
Гели и модификаторы	Высокая	Средняя	Средние	Высокие (расходники)	Загрязнение стрелок
Импульсный песок	Высокая	Отличная	Низкие	Средние	Повышенный износ, засорение
Лазерная очистка	Идеальная	Отличная	Критически высокие	Средние (обслуживание)	Отсутствует

Одним из возможных решений по увеличению коэффициента сцепления колеса с рельсом является устройство пневматической очистки рельсов перед передней колесной парой электровоза, с одновременным применением импульсной пескоподачи. При такой системе работы воздушный поток и дозированный песок создают объединенный эффект и значительно повышают коэффициент сцепления колеса с рельсом.

На рис. 2 представлена структурная схема работы устройства пневматической очистки рельсов перед передней колесной парой электровоза, с одновременным применением импульсной пескоподачи.

Данное устройство состоит из двух частей. Первая часть представляет собой автоматизированную пневматическую систему, устанавливаемою непосредственно на электровоз перед ведущими колесными парами, принцип работы которого заключается в кинетическом воздействии высокоскоростной струи сжатого воздуха на поверхность катания рельса.

Воздух из питательной магистрали электровоза попадает в специализированный блок, где очищается от масла и влаги во избежания обледенения сопел зимой. Далее через электропневматические клапаны сжатый воздух устремляется к соплам.

Сопла такого устройства должны иметь аэродинамическую форму, располагаться на расстоянии 20–50 мм от рельса и формировать направленный плоский поток. Воздух с большой скоростью, подаваемый на рельс, сдувает влагу, сухие и влажные листья, песок и мелкий мусор непосредственно перед накатыванием колеса.



Рис. 2. Структурная схема работы устройства пневматической очистки рельсов перед передней колесной парой электровоза, с одновременным применением импульсной пескоподачи

В плохих погодных условиях применение такой воздушной очистки позволяет увеличить коэффициент сцепления с минимального 0,08–0,12 до нормальных значений 0,22–0,25.

Вторая часть устройства работает на основе штатной системы подсыпки песка электровоза с управлением на основе блока обработки информации и управления.

Данное устройство можно эксплуатировать в различных режимах:

- Режим профилактики: при следовании по сложным участкам, подъёмам, при плохих погодных условиях включается только воздушная очистка. Скоростной поток воздуха сдувает свежую влагу и листья, поддерживая сцепление без расхода песка.
- Режим боксования: если датчики фиксируют проскальзывание колесной пары, воздух продолжает идти непрерывно и подключается импульсную пескоподачу порциями.
- Режим экстренного торможения: обе системы автоматически переводятся на максимальную непрерывную мощность для исключения юза и сокращения тормозного пути.

Положительные эффекты от внедрения данной системы:

- Удаление влаги и грязи с поверхности рельса. Подача песка на мокрый рельс неэффективна, так как песок намокает и не увеличивает сцепление. Воздушный поток, подающийся впереди колесной пары, полностью очищает металл, высушивает, позволяя песчинкам повышать коэффициент сцепления в зоне контакта.
- Экономия ресурсов. При работе системы снижается расход песка до 50 %, что увеличивает продолжительность работы электровоза по запасу песка.
- Повышение пропускной способности поездов. Такая система позволяет реализовать большую силу тяги электровоза, а значит провести поезд большей массы, избегая срывов сцепления, а значит и увеличит скорость хода по участку.

Расчет экономической окупаемости показывает, что такая система могла бы окупиться за 1,5–2 года, что делает данный проект рентабельным.

Воздушная очистка рельс с импульсной пескоподачей могла бы занять в локомотивном хозяйстве оптимальную нишу – простота конструкции, надежность и экономичности при оперативном удалении сезонных погодных загрязнений во время движения поездов, снижение расхода песка.

Библиографический список

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]. – Текст : непосредственный.

2. Волков, И. В. Вопросы прогнозирования и особенности реализации сцепных свойств тягового подвижного состава : монография / И. В. Волков, Ю. П. Булавин, П. Ю. Коновалов. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2007. – 110 с. – Текст : непосредственный.

3. Вейко, В. П. Лазерная очистка рельсового пути / В. П. Вейко, А. А. Петров, А. С. Мазнев, А. М. Евстафьев, А. А. Калинина // Известия высших учебных заведений. Приборостроение : журнал. – 2011. – Т. 54. – № 2. – С. 61–64. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Ларченко Алексей Владимирович, к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой «Подвижной состав и системы обеспечения движения поездов», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – фили-

ал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, zam_nts@zab.megalink.ru ;

Чивилев Владимир Владиславович, студент специальности «Подвижной состав железных дорог», специализация «Электрический транспорт железных дорог», 4 курс, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Латышев О. Ю.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В КОММУНИКАЦИЯХ НОВОЙ МОСКВЫ ПОСРЕДСТВОМ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЯТОГО КОЛЬЦА МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

В предыдущих исследованиях [1–7] проведено проектирование и разработаны основы эксплуатации третьего и четвёртого колец Московского метрополитена, призванных обеспечить потребности в коммуникациях быстро растущей Новой Москвы. Согласно планам расширения Новой Москвы в северном и восточном направлении, следует продумать инфраструктуру пятого кольца московского и подмосковного метрополитена таким образом, чтобы она отвечала всевозрастающим запросам принципиально увеличивающегося населения данных секторов Новой Москвы.

Ключевые слова: Московский метрополитен, проектирование, эксплуатация, коммуникация, Новая Москва, инфраструктура, пятое кольцо, Подмосковье.

На предыдущем, четвёртом кольце, близко расположенные населенные пункты вокруг МКАД не позволяли реализовать всей органичной совокупности идей, которая позволила бы данной кольцевой линии прийти в состояние градообразующего предприятия.

Вместе с тем, заполнить образовавшиеся смысловые лакуны в данном направлении способно именно пятое кольцо московского и подмосковного метрополитена, а затем – и заключительная в данном монументальном архитектурном и градостроительном ансамбле шестая кольцевая линия.

Данная статья избирает своим непосредственным фокусом пока что только пятое кольцо московского и подмосковного метрополитена, который вскоре, с высокой вероятностью, вновь может обрести изначальное название московского.

Данное предположение вытекает из того, что успешное выполнение планов принципиального расширения Новой Москвы может привести к тому, что данным административным образованием будет в среднесрочной перспективе охвачена полностью территория, в настоящий момент принадлежащая Московской области.

Слияние двух регионов в один может использовать в качестве яркого и убедительного катализатора пятое кольцо московского и подмосковного метрополитена, который для краткости уже сейчас мы позволим себе вновь называть только московским.

Западный сектор пятого кольца начинается со станции «Парк «Мечта», за которой последовательно идут станции «Алабино», «Петровское», «Юшково», «Калининец», «Поселок Нии Радио», «Наро-Фоминск», «Кобяково», «Краснознаменск», «Главный Клинический Военный Госпиталь», «Голицыно», «Малые Вязёмы», «Звенигород», «Супонево», «пос. Октябрьской фабрики», «Павловское», «Сокол 2», «Высоково», «Манихино-2», «Дарна», «Алексино», «Адуево», «Лисавино», «Родник», «Истра», «Зеленоград».

Со станции «Зеленоград» начинается северный сектор пятого кольца. Он включает в себя станции Ржавки, Менделеево, Дмитровка, Нефедиха, Гранат, Хорошилово, Берендеевка СНТ, Плёс, Селевкино, Лотосово, Щепино, Исаково, Ординово, Алёшино, Митрополье, Цернское, Софрино, Талицы.

Со станции Талицы начинается восточный сектор пятого кольца. Он проходит через станции Введенское, Царёво, Вторая Алексеевска, Макарово, Химик, Ямкино, Колышкино болото, Ногинск, Клюшниково, Электросталь, Случайный, Иванисово, Фрязево, Минино, Григорово, Обухово, Гжель, Речицы, Пласкинино, Юрово, Кузнецово, Петровское, Бояркино, Бронницы,

Со станции Бронницы начинается заключительный, южный сектор пятого кольца. Он охватывает станции Панино, Малышево, Салтыково, Ганусово, Жирошкино, Борисово, Образцово, Житнево, Белые Столбы, Долматово, Валищево, Львовоский, Никулино, пос. Спортбазы, Курилово, Чириково, Шишкин лес, Сенькино-Секерино, Новоглаголево, Софьино, Селятино.

Замыкается пятое кольцо на вышеназванной станции «Парк «Мечта». Однако если лишь относительно незначительно расширить данную кольцевую линию, то она сможет пройти между данными станциями, прилегающими к Малому московскому кольцу, и многими другими населенными пунктами, которые благодаря этому также могут быть охвачены движением метро, что существенно повысит рентабельность пятого кольца.

С одной стороны, на пятом кольце будут использованы все те же энергосберегающие технологии и дополнительные источники альтернативной энергии, что адресованы данным авторским коллективом четвёртому кольцу, которому посвящен ряд наших предыдущих работ [6–10].

В то же время, прокладка пятого кольца должна опираться на диалектическое единство необходимости выработки энергии из шума и вибрации при движении метропоездов и пассажиров, и в то же время – на использование всех современных технологий, которые смогут снизить уровень шума на линиях.

Это позволит располагать в непосредственной близости от путей не только такие учреждения, которые тоже создают шум в значительном количестве, как танц-полы, кинотеатры, концертные залы и т. д., но и те, работа которых располагает к соблюдению относительной тишины.

Такая ощутимая потребность заключается в том, что четвёртое кольцо имеет протяжённость 200 километров, в то время как пятое – 350, т. е. больше предыдущего в 1,75 раза, что позволяет разместить на пристанционных пространствах не только «шумные» учреждения, но и все остальные, ничуть не менее, если даже не более необходимые.

Разница состоит ещё и в том, что четвёртое кольцо, выполняющее функции аэрокольца, т. е. перевозчика транзитных пассажиров из одного аэропорта в другой, ближе к репрезентативным, т. е. являть собой подземное «лицо Новой Москвы».

Пятое же кольцо – это «мускулы столицы», т. е. не только обширная зона развлечений, но одновременно с этим – центр притяжения для миллионов людей рабочих профессий, жизнь которых характеризуется недостатком высокопробной инфраструктуры.

И прямая задача пятого кольца, помимо перевозки пассажиров и грузов, – предоставить жителям и гостям Новой Москвы и всё ещё пока что юридически существующего Подмосковья максимум разноплановых услуг, которые за пределами метрополитена либо не предоставлялись совсем, либо не отвечали уровню желаемого качества. Либо не имели столь широкого распространения, как это требовалось потребителю.

Поэтому относительную бесшумность пятого кольца призван обеспечить так называемый «бархатный» или бесстыковой путь, который состоит из стандартных рельсов буквально без стыков, выстраиваемый благодаря внедрению технологии их сварки в длинные плети.

Длина такой бесстыковой плети рельсов может достигать десятков километров, что позволяет устранить характерный стук колес. При этом в значительной степени обеспечивается плавность хода метропоезда, что на многих предыдущих линиях уже можно достаточно часто встретить.

Все радиальные линии к моменту завершения работ по строительству пятого кольца также предстоит достроить до его уровня. На данный момент с центром Москвы пятое кольцо могла бы связать только радиальная станция «Зеленоград».

Грузоперевозки по пятому кольцу позволят перемещать продукцию пищевых, перерабатывающих и иных предприятий Новой Москвы и Московской области по маршруту вплоть до трёхсотпятидесяти километров, что обеспечит плавно перетекающие друг в друга по подземному околостанционному пространству мегамаркеты данной линии их свежайшей продукцией.

Не менее свежей импортной продукцией будут пополняться мегамаркеты пятого кольца благодаря так называемой операции «ход конём», в ходе которой по отрезкам радиальных линий между четвёртым и пятым кольцами, идущим от аэропортов «Внуково», «Шереметьево», «Жуковский» и «Домодедово», будет регулярно производиться её выгрузка в пакгаузы при пятой кольцевой линии.

Из пакгаузов электрокары будут оперативно привозить в мегамаркеты пятого кольца всю импортную продукцию, которая к этому моменту либо уже была почти что полностью здесь куплена, либо впервые ввозимую на территорию торговых предприятий данной линии.

Это позволит регулярно снабжать жителей и гостей столицы РФ, движущихся по пятому кольцу, продукцией лучших отечественных предприятий, а также ключевых пищефабрик и заводов 194 других стран мира, по возможности договорившись даже о ввозе знаменитого ватиканского молока.

Всеохватный подход к организации логистических систем будет делать обеспечение российских граждан все более стабильным, престижным и знаменитым во всем мире, а Москва станет крупнейшим городом в Европе теперь уже не только по площади, но одновременно с этим – и по широкой совокупности показателей качества жизни.

Столь же оперативно будут вывозиться по грузовым путям пятого кольца отходы работающих в его пределах предприятий общественного питания, сферы здравоохранения, ремонтных мастерских и подземных цехов многочисленных производств.

Отходы предприятий пятого кольца будут перерабатываться на специальных предприятиях, приблизительно равноудаленных соответственно от южных, западных, северных и восточных секторов смежных 4 и 5 колец, ранее обозначенных нами в предыдущих работах [9, 10].

Фасады подземных зданий пристанционных общественных пространств, обращённые к центральной кольцевой трёхсотпятидесятики-

лометровой пешеходной зоне, могут оформляться в качестве максимально высоких фитостен, представляющих собой буквально зелёные стены для визуального комфорта пассажиров.

Для создания такого стильного акцента прилегающей к станциям пятого кольца территории подземные фасады засаживаются живыми растениями, традиционно используемыми для озеленения интерьеров или фасадов наземных зданий.

Подземные фитостены предназначаются для очистки воздуха в общественных пристанционных пространствах и обогащения его кислородом, а также поглощения выдыхаемого пассажирами и сотрудниками метрополитена углекислого газа.

Использование зелёных стен позволяет повышать влажность воздуха в общественных пристанционных пространствах до требуемых отметок и одновременно с этим – также и экономить их полезную площадь, не загромождая проходы кронштейнами для цветов [1].

Фитолампы, используемые в дополнение к естественному освещению живых фитостен в подземном пространстве будут одновременно с этим участвовать в освещении полезной площади торговых и культурных модулей при станциях метрополитена.

Для обеспечения равномерного увлажнения корней выращиваемых на зелёных стенах метро растений используется система автоматического полива очищенной и подготовленной особым образом дождевой водой, аккумулируемой резервуарами пристанционных пространств.

В качестве хранилищ поливной воды могут использоваться изготовленные из титана или аналогичного по прочности и коррозионной устойчивости материала колонны крупного диаметра, на которые опирается потолок пристанционных зон.

Насосов для полива не требуется, поскольку, аналогично воде, самотёком поступающей в многочисленные петергофские фонтаны [5], вода приходит по шлангам из баков-колонн, расположенных этажом выше, а система автоматического полива лишь регулирует величину струи и периодичность её попадания к корням цветов и нецветковых растений.

Теневыносливые виды растений в наибольшей степени пригодны для оформления подземных фитостен. Среди них – ампельные и компактные, к числу которых относятся спатифиллумы, папоротники, сциндапсус, плющ и филодендроны.

Вышесказанное позволяет сделать следующие выводы. Пятое кольцо метрополитена способно связать воедино значительную последовательность населённых пунктов, как непосредственно прилегающих к Малому

московскому автомобильному кольцу, так и находящиеся от него на некотором расстоянии.

Для того чтобы все предлагаемые в данной статье (и тех статьях, тему которых она логически продолжает), идеи и планы однозначно принесли только пользу, в следующих статьях следует рассмотреть максимально количество возможных издержек реализации вышеуказанного плана строительства пятого кольца.

Одновременно с этим, данному авторскому коллективу предстоит предложить обширный комплекс пропедевтических мер, воплощение которых в жизнь позволит либо существенно минимизировать вред, потенциально причиняемый функционированием пятого кольца, либо в полной мере исключить возникновение любых негативных последствий в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

Однако предложенные меры могут и не ограничиваться пропедевтическим характером, но, вместе с тем, также и активно содействовать развитию технологической оснащённости пятого кольца и всех предыдущих и последующих линий.

Возникновение новых и новых технологических решений в повседневной практике будет всё в большей степени минимизировать совокупность возможных видов вреда, причиняемого окружающей среде в процессе строительства и экслуатации метрополитена.

В конечном итоге будут разработаны взаимоприемлемые алгоритмы, осуществление которых предположат не только существенную редукцию вреда от метроплитена, но, напротив, и способы помочь природе в самовоссоздании благодаря действию таких подземных линий.

При любых обстоятельствах, сначала существенное снижение протяжённости автомобильных пробок в Москве и Московской области, а затем – и полное их исчезновение благодаря строительству новых линий метрополитена, поможет в значительной степени уменьшить углеродный след современного поколения людей.

Естественно, что в качестве смостоятельной меры это не приведет к быстрому возврату натурального климата на планете, но может явиться одним из однозначно позитивных примеров того, как рационально организовать городскую среду таким образом, чтобы ее воздействие на окружающий мир носило исключительно позитивный характер.

Поэтому в своих дальнейших исследованиях данный авторский коллектив выражает надежду на то, что все необходимые компромиссные решния будут последовательно найдены и воплощены в жизнь, в результате чего конечная цель этой работы и будет достигнута.

Библиографический список

1. Латышев, О. Ю. Обработка, интерпретация и описание результатов исследования характеристик произвольного визуального внимания у студентов в контексте дистанционного обучения / О. Ю. Латышев, П. А. Латышева // Актуальные проблемы модернизации высшей школы: формирование системы ценностей в образовательном процессе : материалы XXXVII Международной научно-методической конференции (Новосибирск, 28 января 2026 г.) / Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск : Издательство СГУПС, 2026. – 548 с. – ISBN 978-5-00148-518-6 - С. 215-219. – Текст : непосредственный.

2. Латышев, О. Ю. Включение в наземные транспортные артерии метрополитена Дубая подземных и подводных линий / О. Ю. Латышев, М. Луисетто, Н. Д. Х. Альмухтар, Г. Р. Машори // Молодежь и наука: от исследовательского поиска к продуктивным решениям : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Апрель 2023 г. Том 2. – Иркутск : ГБПОУ ИО «ИКАТ и ДС», 2023. – С. 11–17. – 147 с. – EDN REBVTS. – Текст : непосредственный.

3. Латышев, О. Ю. Анализ результатов применения инновационных образовательных технологий разработки и принятия управленческих решений на примере государственного унитарного предприятия «Московский Метрополитен» / О. Ю. Латышев, П. А. Латышева, Дж. Тарро, А. Х. Фархан // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции. Том 2. 10-11 октября 2024 г. – Иркутск : Иркутский филиал МГТУ ГА, 2024. – 173 с. – С. 123–132. – Текст : непосредственный.

4. Латышев, О. Ю. Организация и управление перевозками на Московском метрополитене посредством строительства третьей кольцевой линии / О. Ю. Латышев, П. А. Латышева, М. Радаэлли, М. Луисетто, М. Лофрано // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции. Том 2. 8–10 октября 2025 г. – Иркутск : Иркутский филиал МГТУ ГА, 2025. − 208 с. – С. 42-45. – Текст : непосредственный.

5. Латышев, О. Ю. Прогнозирование социально-экономического развития ГУП «Московский метрополитен» / О. Ю. Латышев, П. А. Латышева, М. Луисетто // Моделирование и прогнозирование развития отраслей социально-экономической сферы : сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции,

Курск, 25 мая 2023 г. / Сост. Н. С. Бушина, отв. редактор М. П. Куркина. – Курск : Курский государственный медицинский университет, 2023. – С. 76–81. – EDN KNMEHI. – Текст : непосредственный.

6. Latysheva, P. A. Assessment of the state of activity and organizational structure of management of a state unitary enterprise "Moscow metropoliten" / P. A. Latysheva, O. Yu. Latyshev, M. Radaelli, M. Luisetto // Транспортная наука и инновации : материалы Международной научно-практической конференции, г. Самара, 2023 г. – С. 163–167. – Текст : непосредственный.

7. Latysheva, P. A. Including underground and submarine lines in the ground transportation arteries of the Dubai metro / P. A. Latysheva, O. Yu. Latyshev, M. Luisetto // Транспортная наука и инновации : материалы Международной научно-практической конференции, г. Самара, 01–02 июня 2023 г. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – P. 103–106. – EDN WJECCH– Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Латышев Олег Юрьевич, д-р философии в филологии, канд. филол. наук, академик (действительный член) Международных академий: инноваций и устойчивости (ISA, Болгария), социальных технологий (МАС, РФ), естествознания (МАЕ, Великобритания), Месопотамской академии наук и искусств (BEN-MAAS, ОАЭ), детско-юношеского туризма и краеведения имени А. А. Остапца-Свешникова (МОО АДЮТК, РФ). Член-корреспондент Международной академии психологических наук (МАПН), иностранный почётный член ANHE (Эквадор), профессор университета «Сайпресс» (Малави, США), университета GCCI (Либерия), профессор РАЕ, Почётный доктор наук Международной Академии естествознания (Великобритания), Заслуженный деятель науки, техники и образования, отличник народного просвещения, Президент Международной Мариинской Академии имени М. Д. Шаповаленко (Москва, РФ). https://vk.com/club217985887.

Линейцев В. Ю., Ворончихин К. Ю., Вертегов Н. А.

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА НА УЧАСТКЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ «ДАРАСУН – СОЛНЦЕВО» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИПОВЫХ РЕШЕНИЙ

Статья посвящена непосредственно опыту адаптирования типового проекта, предложенного заказчиком к условиям нового объекта. Такой процесс требует всестороннего обследования существующего объекта и самого типового проекта, который предложен к реализации. В ходе данных работ получают полную картину, позволяющую оценить возможность проектирования с использованием типовых решений, а также, в случае невозможности адаптирования типового проекта, определить основные показатели перспективного объекта строительства.

Ключевые слова: типовой проект, автомобильный мост, глубина промерзания, несущая способность грунта, фундамент мелкого заложения, свайный фундамент.

Типовые проектные решения широко применяются как при строительстве промышленно-гражданских сооружений, так и линейных объектов инфраструктуры, таких как железные и автомобильные дороги, трубопроводы и др. Применение типовых проектов в искусственных сооружениях представлено ещё шире. Так, на Забайкальской железной дороге, при её длине в 3320 км, используется более 4350 искусственных сооружений, а именно мостов, тоннелей водопропускных труб, лотков, галерей и т. д. Схожая ситуация наблюдается и на автомобильных дорогах. Использование индивидуальных проектов для каждого объекта не всегда является целесообразным и приводит к существенному удорожанию всего процесса строительства. Исходя из соображений скорости и экономии, принимается решение об использовании уже существующих решений, использованных на других объектах в схожих условиях для строительства новых объектов. В таких решениях уже выполнены все необходимые расчёты, а использование типовых проектов позволяет добиться существенной, до 30 % от стоимости всего проекта, экономии ещё на стадии проектирования.

Рассматриваемый объект находится в селе Зубарево на автомобильной дороге регионального значения «Дарасун-Солнцево». Автомобильный двухпролётный железобетонный мост с фундаментами мелкого заложения через реку Шамашик был признан аварийным и демонтирован (рис. 1-2). Аварийность моста обусловлена поднятием промежуточной

опоры вследствие морозного пучения водонасыщенного грунта. На его месте заказчиком запланировано строительство нового автомобильного моста схожей конструкции и с подрядчиком уже заключён контракт на его сооружение. Было принято решение использовать типовой проект существующего моста с его адаптацией к существующим условиям.



Рис. 1. Объект исследования – существующая автодорога



Рис. 2. Пропуск воды по временному руслу

Возможность адаптирования существующего проекта к новому объекту определяется всесторонним анализом факторов, в перспективе влияющих на процесс строительства и эксплуатации нового мостового перехода. Так, были выполнены инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания.

В процессе первичного изучения влияющих на строительство факторов, было установлено, что целесообразнее всего будет устроить мост таким образом, чтобы он обеспечивал сток дождевых вод с проезжей части. Для этого нужно запроектировать пролётные строения с уклоном 5 ‰ в сторону естественного понижения существующего рельефа (рис. 3).

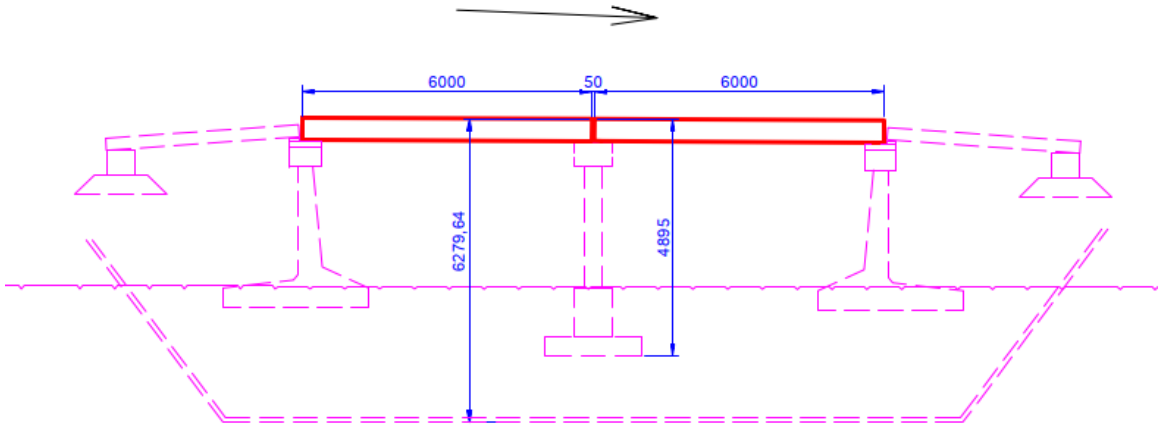


Рис. 3. Типовой мост при уклоне 5 ‰ на спуск

Следующим этапом определена возможность вписывания типового мостового перехода в русло реки Шамашик, с учётом высоты проезжей части существующей дороги. Было установлено, что требуемая глубина заложения фундамента в существующих условиях, существенно превышает принятую в подобном объекте (рис. 4). Так, нижняя часть дна реки располагается ниже подошвы фундамента, а с учётом глубины промерзания 2,8 метра, решение о выборе такого типового проекта требует существенных корректировок.

Кроме того, на автодороге планируется реконструкция земляного полотна и асфальтирование проезжей части на мосту и подходах к нему, вследствие чего, проектная линия дороги после реконструкции будет находиться на полметра выше существующей в близи моста (рис. 5-6). Данный фактор требует поднятия пролётных строений, из-за чего повышается и уровень подошвы фундамента опор. Исходя из этого, существует необходимость увязки проекта реконструкции автодороги и проекта моста; по этой причине, типовой проект является ещё более неподходящим для данного объекта.

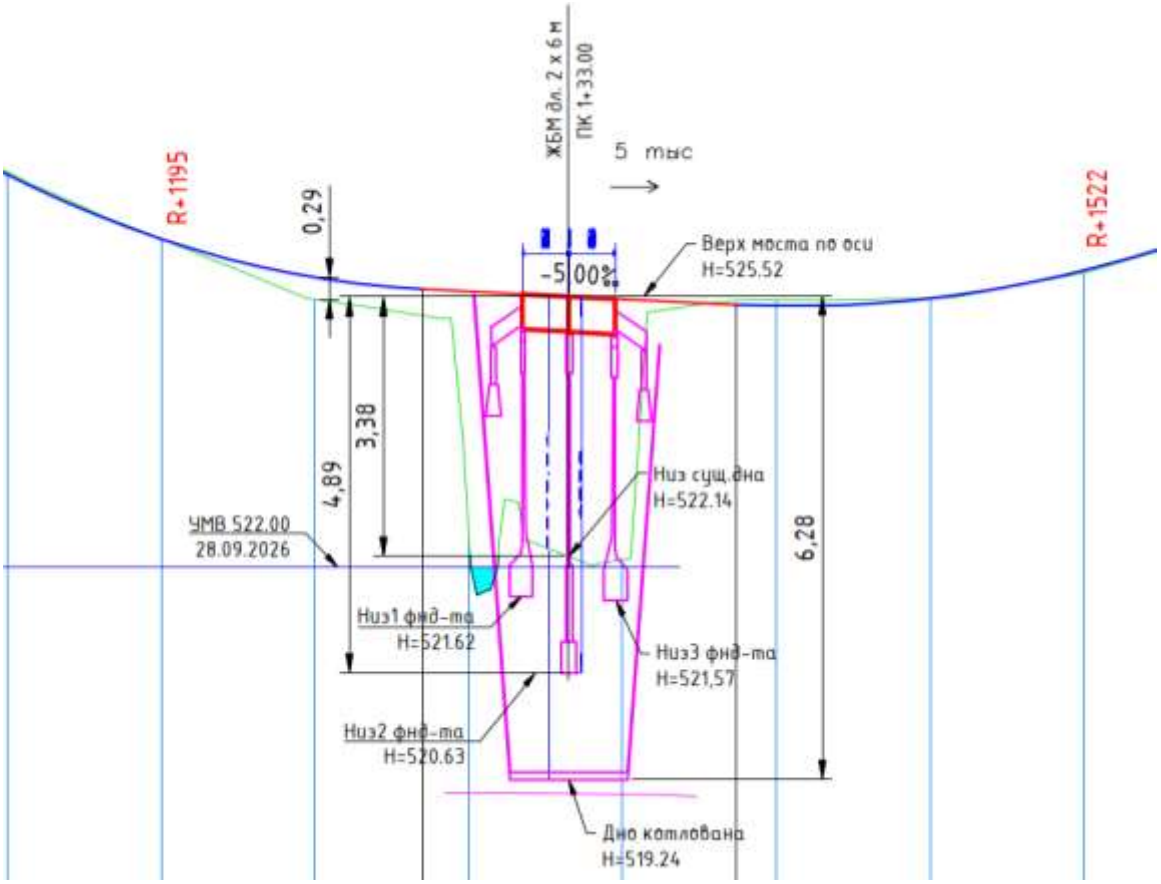


Рис. 4. Вариант размещения моста в продольном профиле на спуске 5 ‰

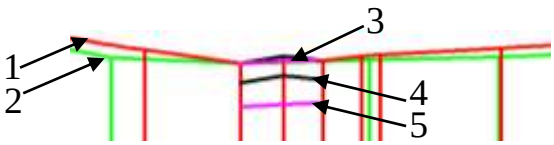


Рис. 5. Фрагмент продольного профиля с мостом: 1 – проектная линия дороги после реконструкции; 2 – уровень существующей дороги; 3 – необходимый уровень проезжей части после реконструкции и строительства моста; 4 – уровень проезжей части демонтированного моста; 5 – уровень проезжей части типового моста из условия глубины промерзания грунта

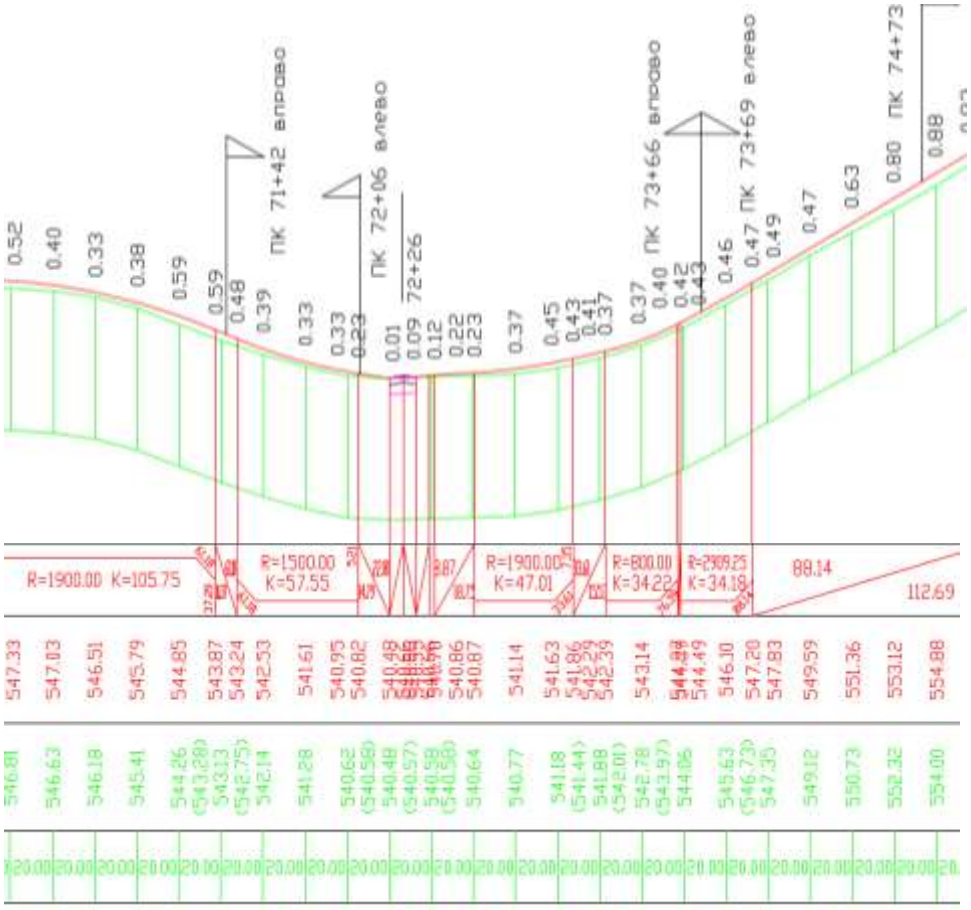


Рис. 6. Проектный продольный профиль ремонтируемой дороги

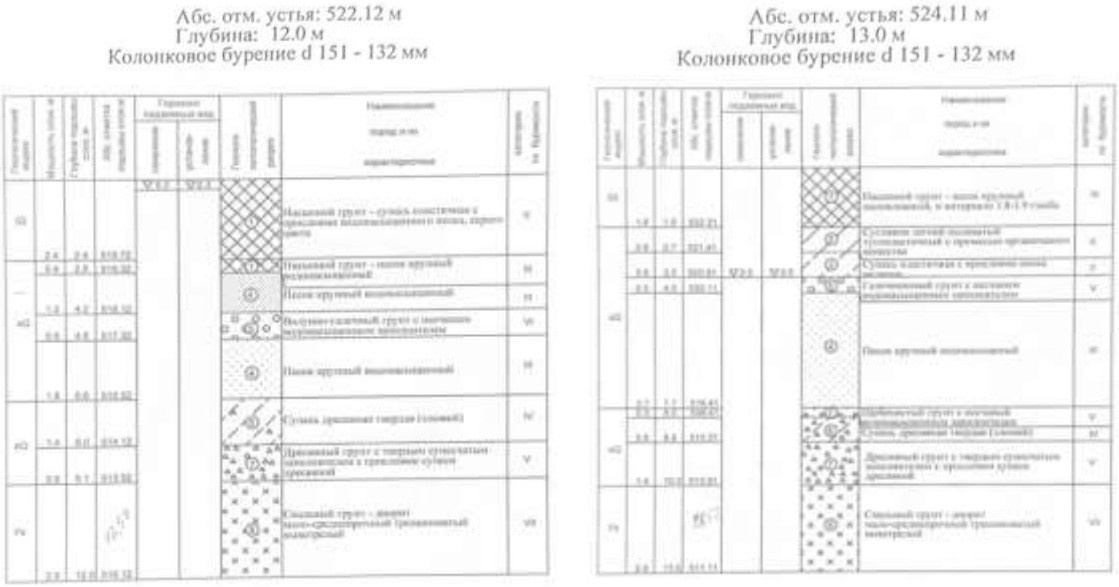


Рис. 7. Инженерно-геологические изыскания места будущего строительства. Слева направо: скважина 321, скважина 322

В ходе геологических изысканий было проведено колонковое бурение двух скважин по берегам реки Шамашик. Установлено, что наиболее подходящие для закладки фундамента опор моста скальные грунты залегают на глубине 9,1–10,2 м, что создаёт трудности при устройстве конструкции фундамента типового проекта. В таких условиях необходимо применение свайного фундамента на буронабивных сваях для исключения избыточных затрат (рис. 7).

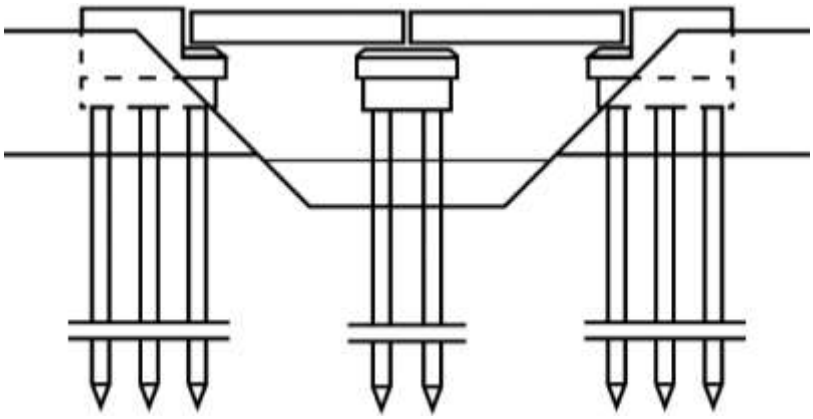


Рис. 8. Схема моста с опорами на свайном фундаменте

Таким образом, типовой проект, предложенный заказчиком, не может быть адаптирован в существующие условия, однако, принятая в типовом решении схема моста, состоящая из двух пролётов по 6 м может быть сохранена и в дальнейшем.

Рекомендуется сохранить уклон пролётных строений в 5 ‰, во избежание скопления избыточной влаги на поверхности моста. В текущих инженерно-геологических условиях, для исключения повторения аварийной ситуации с демонтированным мостом, стоит рассмотреть строительство моста на буронабивных сваях, проникающих в грунт, обладающих необходимой несущей способностью.

Библиографический список

1. Свод правил СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1033/пр]. – Текст : непосредственный.

2. Свод правил СП 317.1325800.2017 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ». – Минстрой России. – Москва, 2017. – Текст : непосредственный.

3. Свод правил СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы». Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* [утверждён приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 822 и введён в действие с 20 мая 2011 г.]. – Текст : непосредственный.

4. Свод правил СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства». Часть I. Общие правила производства работ (Госстрой России). – Москва, 2000. – Текст : непосредственный.

5. Линейцев, В. Ю. Определение параметров асимметричной железнодорожной кривой Безопасность регионов – основа устойчивого развития / В. Ю. Линейцев. – 2014. – Т. 1-2. – С. 355–360. – Текст : непосредственный.

6. Кирпичников, К. А. Инженерные изыскания для строительства : учебное пособие по дисциплине «Инженерные изыскания для железных дорог» для студентов очной и заочной формы обучения специальности 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» / К. А. Кирпичников, В. Ю. Линейцев, Е. В. Непомнящих, К. Ю. Ворончихин. – Чита, 2014. – Текст : непосредственный.

Информация об авторах:

Линейцев Владимир Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры «Строительство железных дорог и экономика строительства», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, linetzev@mail.ru ;

Ворончихин Константин Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры «Строительство железных дорог и экономика строительства», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, vor_kon@mail.ru ;

Вертегов Никита Алексеевич, студент гр. СЖД.2-23-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Максуров А. А.

КООРДИНАЦИЯ ЮРИДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НАЦИОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассматриваются проблемы повышения эффективности правового обеспечения информационной инфраструктуры транспортной отрасли за счёт обеспечения согласованной деятельности субъектов публичного и частного права. Показаны возможности и ограничения координации, приведены положительные примеры координационного регулирования. Выявлены доктринальные проблемы координации такой деятельности, среди которых к основным относится неопределенность субъектно-объектного состава. Предложены пути их решения, даны рекомендации по организации координационного процесса.

Ключевые слова: информационная безопасность, транспортная безопасность, координация, взаимодействие, информационные системы, информационная инфраструктура, транспортная отрасль, транспорт.

Информационные системы транспортной отрасли, обладая значительной потенциальной уязвимостью, представляют собой привлекательный объект неправомерного интереса и противоправного вмешательства. Это становится особенно очевидным в сложных современных условиях, когда повсеместно происходит перестройка публичного управления отраслями национальной экономики [16, с. 198–203]. Осуществление деятельности по правовому обеспечению безопасности транспортных информационных систем различными субъектами права [8, с. 105], появление новых вызовов, обусловленных оборотом цифровых активов [9, с. 111] и спецификой сети интернет в целом [10, с. 59–64] предполагает объективную ведомственную разобщенность в этой сфере, создающую новые угрозы для национальной безопасности [1, с. 11–15]. Способом уменьшения рисков в данном случае выступает координационный институт [6, с. 21–25], исследование которого в части обеспечения безопасного информационного обмена на транспорте и является целью настоящей работы.

Координация предполагает использование специальных способов согласования деятельности различных субъектов права в одной и той же предметной области [4, с. 50–55] в соответствии с принципами координации [20, с. 59–64], в особых формах, как стихийно сложившихся на практике [13, с. 15–18], так и отраженных в правовых актах [7, с. 54–58].

Следует отметить, что применение координационных средств регулирования в исследуемой сфере уже положительно зарекомендовало себя в отдельных случаях, например, в части обеспечения безопасности оборота информации о лицах, пользующихся транспортом, в государственно-правовых целях [3, с. 110], с точки зрения защиты информации о движении денежных средств при расчетах между соперевозчиками [19, с. 17–23], в рамках мультимодальных перевозок [15, с. 48–52] и в других подобных случаях. Обеспечивая эффективное межведомственное взаимодействие, право таким путем реализует собственные социальные функции [2, с. 121–125].

В то же время, в науке указываются и на недостатки координационного процесса [5, с. 89–94], например, с точки зрения неполного учета при правовом регулировании самих особенностей глобальной информационной сети [11, с. 28–30], игнорирования региональной специфики информационного обмена в транспортных системах [17, с. 144–152], игнорирования психологических особенностей координационного процесса [21, с. 89–94]. На недостатки согласования деятельности по правовому обеспечению безопасности информационной инфраструктуры транспортной отрасли указывают и результаты контрольно-надзорной практики [14, с. 64–67].

Основные проблемы, требующие разрешения на уровне юридической доктрины, по всей видимости, связаны с определением субъектно-объектного состава юридической технологии обеспечения информационной безопасности на транспорте, поскольку изначально важным и значимым будет именно определить, во-первых, субъектный состав таких отношений, т. е., каких именно субъектов включать в координационный процесс, и, во-вторых, обозначить предметную область (объект), как то, по поводу чего и будут производиться координационные мероприятия, реализовываться координационные полномочия.

Представляется, что в сфере правового обеспечения информационной безопасности транспортной отрасли задействованы ее субъекты и участники. Предлагается разграничивать субъектов публичного и частного права как лиц, (публичные и частные субъекты), обеспечивающих информационную безопасность транспортной сферы.

Субъекты публичного права могут выполнять функции правового регулирования и контроля, либо же быть исполнителями требований нормативных документов в указанной области.

У частных субъектов правового обеспечения информационной безопасности транспортной сферы пять основных функций: во-первых, выполнение обязанностей собственника или иного владельца объекта кри-

тической информационной инфраструктуры на транспорте, во-вторых, создание информационных систем и сетей связи и т. п., в-третьих, эксплуатация объекта критической информационной инфраструктуры, в-четвертых, осуществление деятельности операторами связи и операторами информационных систем, в-пятых, создание и применение средств технической защиты транспортной отрасли [18, с. 2074–2078].

Определенность в субъектном составе позволит обеспечить круг участников координационного процесса.

Специальными координационными полномочиями здесь будут обладать только органы публичной власти, соответствующая компетенция которых в сфере координации основана на законе.

К сожалению, в настоящее время нормы федерального законодательства таких координационных полномочий не предусматривают, а трактовать их на основе стратегических документов в области национальной безопасности можно достаточно широко и не всегда правильно. Более того, стратегические документы почти всегда имеют подзаконный характер и они не в полной мере обязательны для органов исполнительной власти субъектов РФ, когда содержат нормы, предполагающие регулирование вне пределов исключительной компетенции федерального центра.

Также они, не будучи нормами федеральных законов, относятся к рекомендательным актам для органов местного самоуправления, самостоятельных в пределах своей компетенции, если иное не устанавливает по конкретному вопросу и поводу федеральный закон. Вне прямого указания федерального закона не возникает координационных обязанностей и у субъектов частного права.

Соответственно, в указанной части предлагается издание Федерального закона «О координации деятельности органов государственной власти и местного самоуправления, организаций и граждан по участию в обеспечении национальной безопасности», в рамках которого возможно и правовое регулирование вопросов согласования деятельности по юридическому обеспечению безопасности информационной транспортной инфраструктуры.

Важно внести определенность в организацию координационного процесса и в части предметной области.

Здесь уже речь должна идти о некоторой потенциально возможной сфере применения координационных полномочий.

На первый взгляд, очевидно, что необходимо говорить об информации (как сведениях), информационном ресурсе («накопителе» информационного массива), информационной системе (аппаратный признак), информационной инфраструктуре как совокупности информационных

систем и информационном обмене. Однако в таком случае подразумеваются объекты информационной защиты, но не область существования юридической технологии обеспечения информационной безопасности транспортной отрасли (она заведомо шире) и не сфера координационного регулирования, которая будет более специфической и выделяется по другим критериям и в иных целях.

Теоретически можно выделять объект (общественные отношения) и предмет (объекты информационной инфраструктуры) целенаправленного правового воздействия в указанной сфере, однако на практике не всегда очевидно, что именно должно в том или ином конкретном случае рассматриваться в качестве предмета правового воздействия. Имеющийся нормативный материал не содержит такого разграничения и «предмет» в данном случае именует «объектом», чего, видимо, придется придерживаться, исходя из традиций законодательной техники.

Предлагается расширить круг объектов юридической технологии обеспечения информационной безопасности на транспорте за счет включения туда также и процессов, так или иначе связанных с оборотом информации, что, кстати, предполагает сама деятельность по правовому обеспечению безопасности информационных систем как деятельность проектная, представляющая собой, по сути, управление юридическим проектом (субпроектом) в рамках мегапроекта – обеспечения безопасности информационной инфраструктуры [12, с. 145], которое обеспечивается не только с помощью юридических средств, но и посредством технических (аппаратных и физических), организационных, материальных и иных способов, средств и ресурсов.

На самом деле, между «статичными» объектами и процессами во многих случаях нет существенной разницы, поскольку нередко сам объект представляет интерес, как с точки зрения его использования, так и с позиций обеспечения его безопасности именно в случае, когда объект, так или иначе, взаимодействует с субъектом. Однако это не всегда выглядит таким образом. Существуют объекты («архивные» серверы с конфиденциальной информацией, хранилище документов в нецифровом виде), неприкосновенность которых должна быть обеспечена вне обращения к ним субъекта информационных отношений, равно как будут нуждаться в обеспечении информационной безопасности процессы информационного обмена между субъектами информационных отношений в транспортной сфере, которые лежат вне рамок информационной инфраструктуры транспортной отрасли как того или иного статического объекта и осуществляются, например, в сети Интернет.

Таким образом, по результатам исследования необходимо отметить объективную необходимость в координации деятельности по правовому обеспечению информационной безопасности транспортной отрасли.

Такая координация уже осуществляется, однако не лишена недостатков. Ее эффективность может быть существенно повышена за счет дальнейшей разработки юридической доктрины.

Наиболее важным на данном, первоначальном этапе научного поиска будет определение субъектно-объектного состава такой деятельности.

В работе предложено включать в состав участников координационного процесса также субъектов частного права, что необходимо упорядочить на уровне федерального закона, поскольку в противном случае сложно возложить какие-либо координационные обязанности на субъектов частного права, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления. Определены пять основных сфер взаимодействия органов публичной власти и субъектов частного права в указанной области.

Не менее важно определить объект и предмет юридической технологии обеспечения информационной безопасности транспорта. В статье предложен авторский подход к данному вопросу, исходящий из возможности отнесения к объектам координации также и процессы и т. п.

Библиографический список

1. Баранов, В. М. Основные недостатки координационной практики по обеспечению экономической безопасности Российской Федерации на современном этапе / В. М. Баранов, В. Н. Карташов // Экономическая безопасность России: политические ориентиры, законодательные приоритеты, практика обеспечения. Вестник Нижегородской академии МВД России. – 2006. – № 6. – С. 11–15. – Текст : непосредственный.

2. Бриль, Г. Г. Малоисследованные общесоциальные функции координационной юридической практики / Г. Г. Бриль // Актуальные проблемы теории и истории права и государства на современном этапе : сборник научных трудов V-й Межвузовской научно-практичической конференции / Отв. ред. проф. Г. Г. Бриль. – Кострома, 2007. – С. 121–125. – Текст : непосредственный.

3. Гражданское исполнительное право / Под редакцией А. А. Власова. – Москва : Экзамен, 2004. – 430 с. – Текст : непосредственный.

4. Карташов, В. Н. К вопросу о понятии координационной юридической тактики / В. Н. Карташов // Развитие молодёжной юридической науки в современном мире : сборник научных трудов по материа-

лам VIII Международной научно-практической интернет-конференции 15 мая 2011 г. – Тамбов, 2011. – С. 50–55. – Текст : непосредственный.

5. Карташов, В. Н. Координационная юридическая практика государственных органов: взгляд на проблему эффективности / В. Н. Карташов // Актуальные проблемы теории и истории права и государства на современном этапе : сборник научных трудов V-й Межвузовской научно-практической конференции / Отв. ред. проф. Г. Г. Бриль. – Кострома, 2007. – С. 89–94. – Текст : непосредственный.

6. Карташов, В. Н. Механизм координационного регулирования / В. Н. Карташов // Вестник научных трудов Нижнекамского филиала Московского гуманитарно-экономического института. Вып. 3. Часть 8. Вопросы теории и истории гос. и права / Отв. ред. П. А. Кабанов. – Нижнекамск, 2001. – С. 21–25. – Текст : непосредственный.

7. Кивленок, Т. В. Правовой акт как внешняя форма координационной деятельности / Т. В. Кивленок // Актуальные проблемы юриспруденции : сборник научных трудов. – Владимир : ВГПУ, 2002. – Вып. 3. – С. 54–58. – Текст : непосредственный.

8. Макаров, И. И. Координация в праве / И. И. Макаров. – Ярославль : ЯФ МФЮА. – 2012. – 314 с. – Текст : непосредственный.

9. Максуров, А. А. Блокчейн, криптовалюта, майнинг: понятие и правовое регулирование / А. А. Максуров. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва : Дашков и К, 2021. – 288 с. – Текст : непосредственный.

10. Максуров, А. А. О методологических основах правового регулирования интернет-отношений / А. А. Максуров // Законодательство и экономика. – 2012. – № 2. – С. 59–64. – Текст : непосредственный.

11. Максуров, А. А. Предмет правового регулирования интернет-права / А. А. Максуров // Правовые вопросы связи. – 2010. – № 1. – С. 28–30. – Текст : непосредственный.

12. Максуров, А. А. Управление юридическими проектами. Сер. : Проектный подход в праве / А. А. Максуров. – Москва : ЭкООнис, 2017. – 390 с. – Текст : непосредственный.

13. Мельников, Ю. И. Формы координационного взаимодействия в праве: Координационный семинар / Ю. И. Мельников // Вестник научных трудов Ярославского филиала Московской финансово-юридической академии. Юриспруденция / Под редакцией Ю. И. Мельникова, А. А. Максурова, Г. В. Семеновой. – Ярославль, 2003. – Вып. 1. – С. 15–18. – Текст : непосредственный.

14. Постнов, А. С. Контроль и надзор как факторы повышения эффективности координационной практики / А. С. Постнов // Российское

право в период социальных реформ : материалы конференции студентов, аспирантов, соискателей и молодых учёных-юристов (г. Нижний Новгород, 26-27 ноября 2004 г.). – Вып. 6. – Ч. 1. – 2005. – С. 64–67. – Текст : непосредственный.

15. Таланова, М. В. Общее понятие о мультимодальной перевозке: правовые аспекты / М. В. Таланова // Экономико-правовые аспекты развития общества : сборник материалов Национальной научно-практической конференции. Том 1 / Под общей редакцией Н. В. Никитиной, Е. В. Барашевой. – Иркутск, 2026. – С. 48–52. – Текст : непосредственный.

16. Таланова, М. В. Политико-правовые и социальные изменения в системе публичного управления в условиях санкций / М. В. Таланова // Актуальные проблемы социально-гуманитарных и экономических наук в контексте современных реформ : материалы Всероссийской научно-практической заочной интернет-конференции с международным участием для преподавателей, аспирантов и студентов ДОННУЭТ. – 2026. – С. 198–203. – Текст : непосредственный.

17. Таланова, М. В. Правовое регулирование организации мультимодальных перевозок: региональные аспекты / М. В. Таланова // Региональные особенности рыночных социально-экономических систем (структур) и их правовое обеспечение: материалы XVII научно-практической конференции с элементами научной школы для молодых учёных (с международным участием). 11 февраля 2026 г. / под редакцией А. В. Яшина ; филиал ЧОУВО «Московский университет им. С. Ю. Витте» в г. Пензе. – Москва : Издательство ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте». – 2026. – С. 144–152. – Текст : непосредственный.

18. Таланова, М. В. Технические средства правового обеспечения информационной безопасности транспортной отрасли / М. В. Таланова // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : материалы Международной научно-практической конференции (Казань, 19-20 марта 2026 г.) / под общей редакцией И. Г. Ахметовой. – Казань : Казанский государственный энергетический университет. – 2026. – С. 2074–2078. – Текст : непосредственный.

19. Уколова, Ю. А. При каких обстоятельствах невозвращение кредита может повлечь уголовную ответственность? / Ю. А. Уколов // Юридический справочник руководителя. – 2009. – № 11. – С. 17–23. – Текст : непосредственный.

20. Фролов, С. Е. Принципы координационной деятельности / С. Е. Фролов // Актуальные проблемы юриспруденции : сборник научных трудов. – Владимир, 2002. – С. 59–64. – Текст : непосредственный.

21. Чернецов, В. Ю. Психологический подход к изучению проблем координационной юридической практики / В. Ю. Чернецов // Законодательство и правоприменение в Российской Федерации : доклады и сообщения VII Международной научной конференции, Москва, 17 апреля 2007 г. – Москва : РГГУ, 2007. – С. 89–94. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Максуров Алексей Анатольевич, к.ю.н., доцент кафедры теории и истории государства и права ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова», Ярославская область, г. Ярославль, Россия, alex.maks.yarosl@gmail.com.

Менакер К. В.

УСЛОВИЯ СОВМЕЩЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО И ВОЛНОВОГО РЕЗОНАНСОВ В ДВУХПРОВОДНОЙ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

Совмещение параметрического и волнового резонансов в двухпроводной длинной линии позволяет достичь режима автоколебаний с одновременной возможностью снятия части накопленной энергии на нагрузку. Нахождение условий совмещения двух резонансов в анализируемой электрической цепи является содержанием данной научной работы. Статья содержит необходимые аналитические выкладки, пояснительные схемы и полученные осциллограммы.

Ключевые слова: двухпроводная длинная линия, параметрический резонанс, волновой резонанс, режим автоколебаний, удельные электрические параметры.

В качестве объекта исследования рассмотрим двухпроводную длинную линию с реальными удельными электрическими параметрами (рис. 1). Удельное сопротивление линии $R_1 = 0{,}0224\,Ом/м$, удельная индуктивность $L_1 = 1{,}2\,мкГн/м$, удельная емкость $C_1 = 9{,}27\,пФ/м$, удельная проводимость $G_1 = 0{,}15\,мкСм/м$.

Определим вторичные электрические параметры длинной линии. Примем значение действующей частоты гармонических колебаний $f = 2{,}481\,МГц$, или $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 15{,}59 \cdot 10^6\ рад/с$.

Комплексный коэффициент распространения:

$$\gamma = \sqrt{(R_1 + j\omega \cdot L_1) \cdot (G_1 + j\omega \cdot C_1)} = \alpha + j \cdot \beta = 5{,}811 \cdot 10^{-5} + j \cdot 0{,}052 ,$$

где $\alpha = \mathrm{Re}(\gamma) = 5.811 \cdot 10^{-5}$ – коэффициент ослабления;

$\beta = \mathrm{Im}(\gamma) = 0{,}052$ – коэффициент фазы;

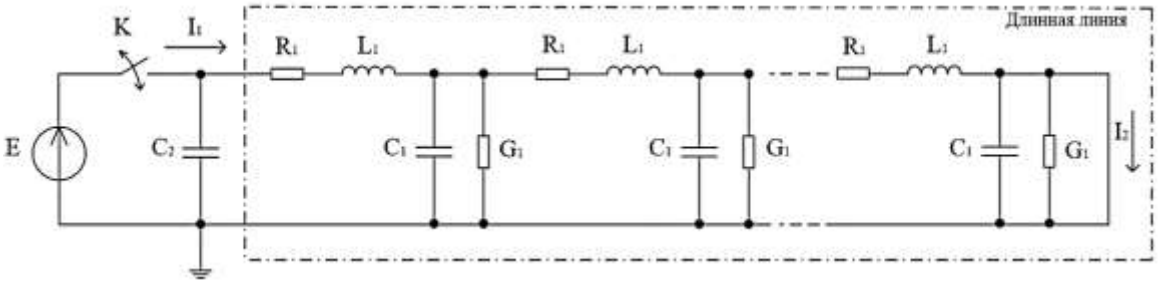


Рис. 1. Функциональная схема короткозамкнутой длинной линии

Комплексное волновое сопротивление:

$$Z_в = \sqrt{\frac{(R_1 + j\omega \cdot L_1)}{(G_1 + j\omega \cdot C_1)}} = z_в \cdot e^{j\varphi} = 359{,}791 - 0{,}029 \cdot j \; Ом ,$$

где $z_в = |Z_в| = 359{,}791 \, Ом$ – модуль комплексного волнового сопротивления;

$\varphi = Arg(Z_в) = -4{,}568 \cdot 10^{-3}$ *градуса* – разность фаз между напряжением и током;

Длина волны и четверть длины волны:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{\beta} = 120{,}849 \; м \quad \frac{\lambda}{4} = 30{,}212 \; м .$$

Запуск режима автоколебаний в исследуемой цепи осуществляется путем кратковременной коммутации входных концов 1-1’ короткозамкнутой длинной линии на источник постоянного напряжения (рис. 1). Однако известно, что гармонические колебания в длинной линии возможны только при ее подключении к источнику синусоидального сигнала.

В исследуемой схеме источником гармонических колебаний является параллельный колебательный контур, образованный подключенной к входным концам 1-1’ емкостью C_2 и эквивалентной индуктивно-

стью $L_{экв}$, образованной короткозамкнутым отрезком линии электрической длины $0 < l/\lambda < 1/4$. Величина эквивалентной индуктивности $L_{экв}$ для короткозамкнутого отрезка длинной линии может быть найдена из известного выражения [1]:

$$Z = R_в \cdot th(\gamma \cdot l) = R_в \cdot th(j \cdot \beta \cdot l) = j \cdot R_в \cdot tg(2 \cdot \pi \cdot l/\lambda) = j \cdot \omega \cdot L_{экв}. \qquad (1)$$

$$L_{экв} = \frac{R_в}{\omega} \cdot tg(2 \cdot \pi \cdot l/\lambda) = \frac{359{,}791}{15{,}59 \cdot 10^6} \cdot tg(2 \cdot \pi \cdot 30{,}212/120{,}849) = 2{,}308 \cdot 10^{-5}\ Гн$$

Значение емкости C_2 может быть найдено из условия действия в исследуемой цепи параметрического резонанса [2]:

$$f = 1/(2\pi \cdot \sqrt{L_{экв} \cdot C_2}) \Rightarrow$$

$$C_2 = 1/(4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L_{экв}) = 1/\left(4 \cdot \pi^2 \cdot (2.481 \cdot 10^6)^2 \cdot 2.308 \cdot 10^{-5}\right) = 178.3\ нФ$$

Гармонические колебания на частоте f инициируют синхронные волновые процессы в линии, лежащие в основе режима автоколебаний.

При коротком замыкании на выходе четвертьволновой линии коэффициент отражения в конце линии $\rho_2 = -1$. В этом случае напряжения падающей и отраженной волн на короткозамкнутом конце линии имеют одинаковые амплитуды, но сдвинуты по фазе на 180 градусов. Мгновенное значение напряжения в любой момент времени на короткозамкнутом участке линии равно нулю, а токи падающей и отраженной волн совпадают по фазе и складываются. Мгновенное значение тока на короткозамкнутом участке линии принимает максимальное значение (рис. 2).

Линия входными концами 1-1’ нагружена на емкость C_2, которая имеет чисто реактивный характер сопротивления. При чисто реактивной нагрузке модуль коэффициента отражения на входе линии составляет $|\rho_1| = 1$ [3]. Наличие конденсатора C_2 на входных зажимах линии приводит к смещению всех узлов и всех пучностей на величину на величину $l_1 = \varphi \cdot \lambda / 2 \cdot \pi$, где $\varphi = arctg(z_в / x_{C2})$. При выборе емкости $C_2 = 178{,}3\ нФ$, направленной на равенство модуля ее реактивного сопротивления $x_{C2} = 1/\omega \cdot C_2 = z_в$ модулю волнового сопротивления линии, разность фаз между напряжением и током на входных зажимах линии составит $\varphi = arctg(1) = 45^0 = \pi/4$. В этом случае смещение узлов (пучностей)

напряжения и тока составит $l_1 = (\pi/4)\cdot\lambda/(2\cdot\pi) = \lambda/8$ (рис. 3), ровно 1/2 от длины линии, составляющей четверть длины волны $\lambda/4$.

Таким образом, при подключении на входе линии правильно подобранной по значению емкости C_2 физическую длину линии целесообразно укоротить до значения $l = \lambda/8$. В этом случае напряжение на короткозамкнутом отрезке линии будет стремиться к нулю, а ток за счет сложения падающей и отраженной волн будет принимать максимальное значение (режим стоячих волн). При этом на входных концах линии будет наблюдаться одновременное сложение амплитуд падающей и отраженных волн напряжения и тока. Ток и напряжение будут принимать значения близкие к максимальным.

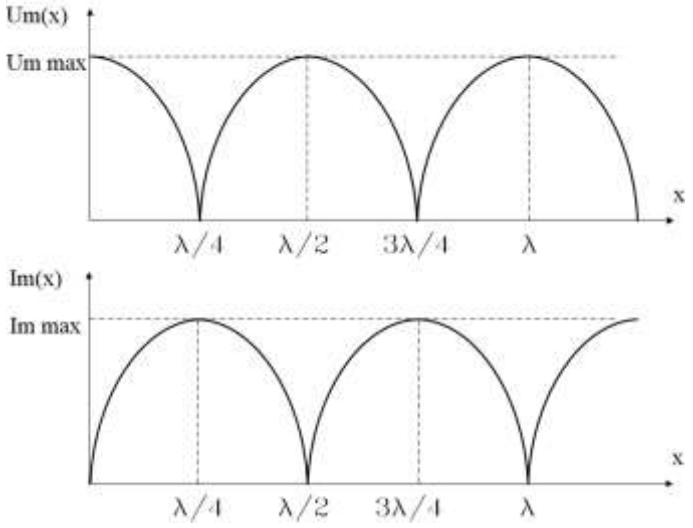


Рис. 2. Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль линии в режиме короткого замыкания

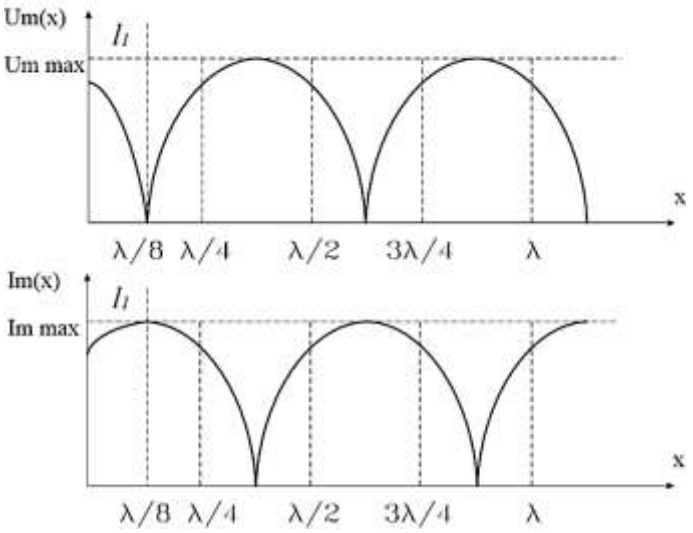


Рис. 3. Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль линии в режиме короткого замыкания при наличии на входе емкости C_2

В результате происходит экспоненциальный рост амплитудных значений тока и напряжения в начале линии. Бесконечный рост тока и напряжения ограничивается имеющимися незначительными потерями линии и за счет снятия части энергии на нагрузку с входных концов (рис. 4).

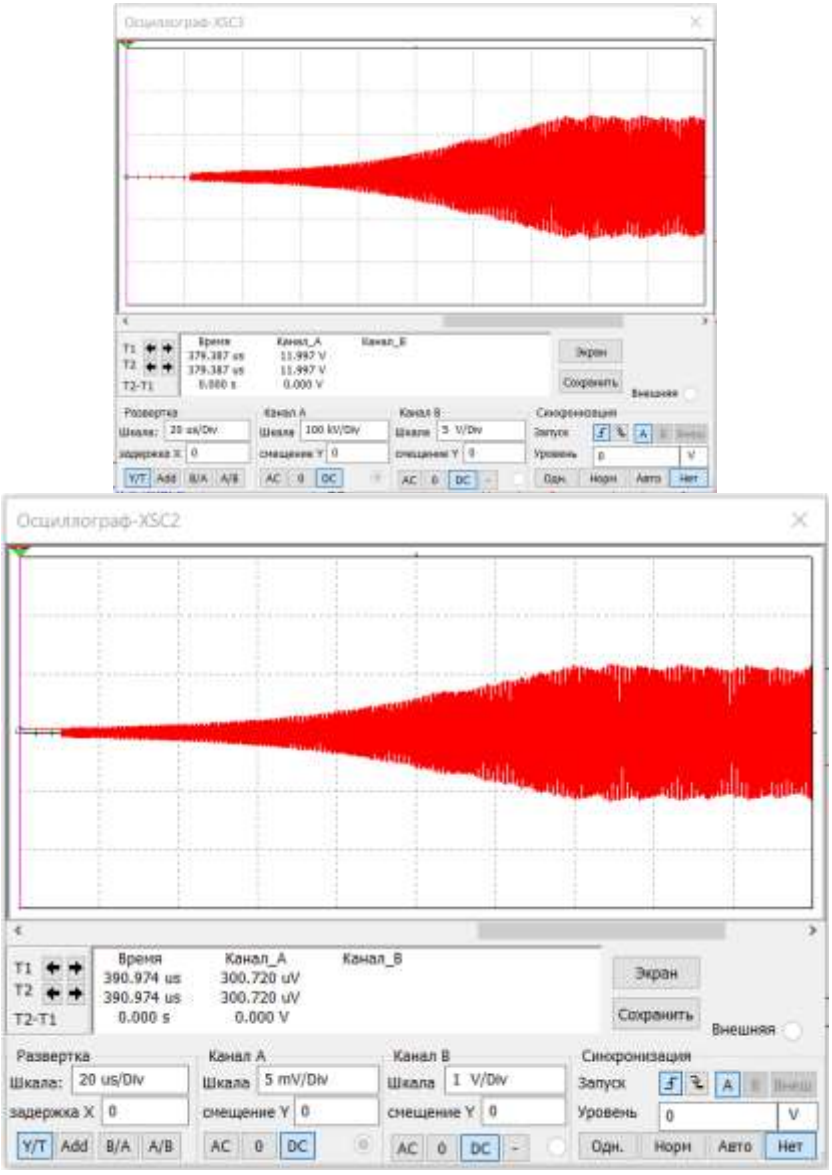


Рис. 4. Осциллограммы напряжения и тока в конце и начале линии соответственно

Разность фаз же между напряжением и током на входных зажимах линии составляет $\varphi = arctg(R_в / x_{C2}) = arctg(1) = 45^0 = \pi/4$ и позволяет

снять активную составляющую накопленной энергии на обкладках конденсатора C_2 на нагрузку.

Таким образом, для получения режима автоколебаний в исследуемой цепи необходимо выполнение следующих условий:

1. Длина линии должна составлять 1/8 от длины волны.

2. Частота свободных колебаний контура, образованного эквивалентной индуктивностью короткозамкнутого отрезка длинной линии и емкостью на входных зажимах, должна совпадать с частотой четвертьволнового резонанса.

3. Значение емкости, подключенной на входных зажимах, должно соответствовать реактивному сопротивлению равному волновому сопротивлению линии.

4. Удельные электрические параметры линии должны соответствовать условию неискажающей передачи колебаний.

Режим автоколебаний двухпроводной длинной линии может быть использован при построении различных источников электропитания и преобразовательных устройств.

Библиографический список

1. Исследование режима автоколебаний короткозамкнутой длинной линии / К. В. Менакер, С. М. Куценко, М. В. Востриков, П. В. Савченко // Электротехника. – 2023. – № 11. – С. 69–76. – DOI 10.53891/00135860_2023_11_69. – Текст : непосредственный.

2. Менакер, К. В. Исследование режима самовозбуждения колебательного контура на основе короткозамкнутой длинной линии / К. В. Менакер, П. В. Савченко // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 1(11). – С. 317–323. – Текст : непосредственный.

3. Попов, В. П. Основы теории цепей : учебник для бакалавров / В. П. Попов. – Издание 7-е, переработанное и дополненное. – Москва : Издательство «Юрайт», 2015. – 696 с. — Серия : Бакалавр. Базовый курс. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Менакер Константин Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и системы обеспечения движения поездов», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, menkot@mail.ru.

Менакер К. В., Салтанова Д. Е.

ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ ВИДИМОСТИ ОГНЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СВЕТОФОРОВ

Проверка видимости огней железнодорожных светофоров с пути и с кабины локомотива является обязательной процедурой, выполняемой электромехаником и машинистом. Риск нахождения работников на путях, значительные временные затраты при проведении проверки и субъективная человеческая оценка различимости сигналов светофоров на требуемом расстоянии приводит к необходимости автоматизации данного технологического процесса.

Ключевые слова: светофор, сигнальное показание, головка светофора, видимость, беспилотный летательный аппарат, дрон, датчик, лидар.

На железной дороге безопасность движения поездов зависит от работы большого числа специалистов и технических средств. Однако, ключевыми элементами, обеспечивающими безопасность движения, являются сигналы светофоров. Согласно действующей нормативно-технической документации, видимость сигнальных показаний требуется проверять после каждой смены ламп или светодиодных светооптических систем, после смены линзового комплекта, светофорной головки или всего светофора в целом, а также после устранения последствий различных природных явлений (снегопад, метель, сильные порывы ветра), но не реже 1 раза в квартал. Проверка видимости огней светофоров может производиться как с земли, так и с кабины локомотива [1].

Проверка осуществляется с расстояния не менее 1000 метров на прямых участках, в кривых не менее 400 м, на пересеченной местности не менее 200 м [2–4].

Видимость огней светофоров проводят в светлое время суток. На станционных светофорах проверяется видимость запрещающих показаний, а на перегоне видимость тех показаний, которые в данный момент времени действуют на светофоре. Причем из-за большой протяженности перегонов в десятки километров проверка видимости показаний светофоров осуществляется тремя способами. **Наземный обход** электромеханиками и электромонтерами. При этом проверка с пути небезопасна из-за движения поездов, близости контактной сети, возможности обморожения и связана со значительными временными затратами. **Визуальный контроль** членами локомотивных бригад, попутно следу-

ющих поездов не всегда эффективен, поскольку неисправности зачастую выявляются уже при приближении к светофору. **При совместном движении электромехаников в кабине машинистов** требуется зачастую внештатный прогон локомотива. Следует также отметить, что из наличия естественных препятствий видимость светофора может удовлетворительной при 1000 метрах и отсутствовать, в полной мере, на любом промежуточном отрезке. К этому следует отнести необходимость подсчета числа неисправных светодиодов в современных светодиодных светооптических системах, число которых не должно превышать 30 процентов от общего их числа. Подсчет неисправных элементов можно осуществить только с близкого расстояния или с использованием специальных оптических приборов.

Развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) открывает новые возможности в диагностики и проверки исправного состояния средств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), включая проверку видимости сигналов светофоров.

БПЛА обладают высокой скоростью. Облет светофоров железнодорожной станции или участков перегона по заданной программе займет гораздо меньше времени, чем при визуальном обходе. Современные мультиспектральные камеры высокого разрешения позволяют зафиксировать не только литеру светофора и расположение горящего показания, но цветовую температуру свечения. При близком подлете БПЛА к светофору появляется возможность фиксации числа неисправных светодиодов. Тепловизионная съемка позволяет бесконтактным способом проверить нагрев сигнальных трансформаторов и ламп внутри головок светофора. Холодное пятно на термограмме указывает на обрыв нити лампы или сгоревший элемент.

Лидары (лазерные сканеры) имеют возможность формирования точной трехмерной модели местности, вычисления высоты установки головок светофора, угла наклонов мачты относительно допустимых значений. Сканированные изображения позволяют с помощью специализированного программного обеспечения отсекать мертвые зоны, созданные растительностью, естественными и искусственными препятствиями.

GPS-модули совместно с фотокамерами смогут считать литеру светофора, а также сверить в реальном времени фактическую ординату объекта с планом путевого развития.

Все описанные процессы диагностики могут быть реализованы без участия электромехаников. Карта участка железной дороги загружается в наземную станцию управления. На карте обозначаются GPS-координаты светофоров (рис. 1).

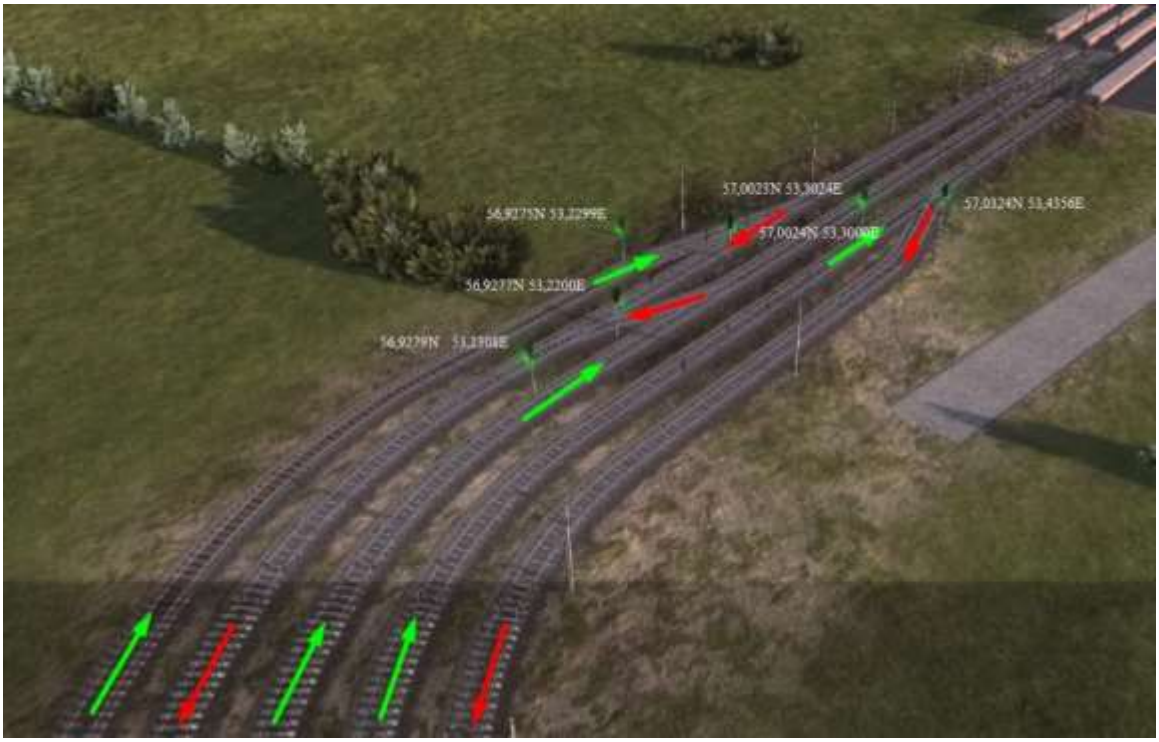


Рис. 1. Карта участка железной дороги

Построение маршрута осуществляется с учетом рельефа местности, наличия запретных зон. Дрон осуществляет полет с небольшой скоростью на высоте не более 20 метров над уровнем железнодорожного полотна, удерживая заданный маршрут благодаря гироскопическому трекингу и машинному зрению. БПЛА подлетает к светофору на требуемое расстояние в 1000 метров на прямом участке и делает серию фотоснимков в видимом и инфракрасном диапазоне (рис. 2).



Рис. 2. Фотоснимки сигналов светофора в видимом и ИК диапазоне

Одновременно с этим БПЛА с помощью лидара формирует 3D модель местности, фиксируя наличие мертвых зон и посторонних объектов.



Рис. 3. 3D модель участка железной дороги

Далее БПЛА приближается к светофору, продолжая формирование карты местности. При подлете к светофору на расстояние в несколько метров лидар фиксирует геометрию углов наклона светофора в нескольких плоскостях, а фотокамера БПЛА считывает литеру и производит тепловизионную диагностику горящей головки на предмет наличия неисправных светодиодов (рис. 4). Далее дрон прокладывает маршрут к следующему светофору. На базе электромеханик с помощью специализированного программного обеспечения производит анализ полученной по итогам полета БПЛА информации и планирует работы по устранению выявленных инцидентов. По итогам облета всей дистанции появляется возможность формирования электронного отчета. Каждому светофору присваивается обновленный цифровой паспорт с историей деградации линзовых комплектов, динамикой нагрева и актуальными фотографиями.

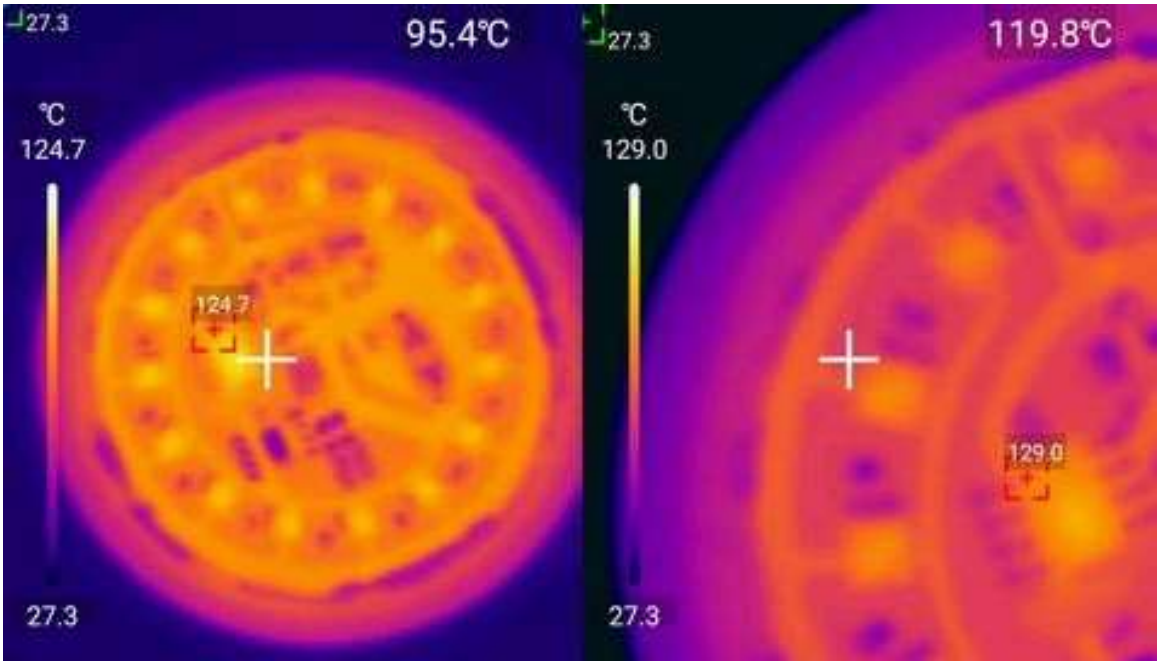


Рис. 4. Тепловизионная диагностика головки светофора на предмет наличия неисправных светодиодов

По итогам сказанного можно заключить, что при организации проверки видимости огней светофоров с помощью БПЛА обеспечивается безопасность персонала, снижается время нахождения работников дистанции на путях и вблизи высоковольтной контактной сети. Скорость облета перегона длиной 50 км займет около двух часов, в то время как бригаде потребовалось бы для выполнения этой работы несколько дней. Технические средства оценивают требуемые параметры по единым калиброванным метрикам. Тепловизионная диагностика позволяет прогнозировать возможные отказы и заменять запасные части заранее, не допуская аварий. Экономический эффект от внедрения будет значительным поскольку сократятся затраты на амортизацию автотранспортных средств, топливо и оплату человеко-часов электромонтерам и электромеханикам СЦБ.

Несмотря на перечисленные достоинства при внедрении БПЛА для указанных целей необходимо учитывать возможное влияние электромагнитных полей от контактной сети и тяговых подстанций. В условиях проведения СВО полеты над стратегической инфраструктурой требуют согласования с рядом военных и гражданских ведомств, использования защищенных частот передачи данных. Ограниченный заряд аккумуляторных батарей БПЛА и низкие температуры в зимний период времени требуют внедрения специальных устройств подзарядки от наведен-

ного электромагнитного поля прямо в полете. При использовании БПЛА в экстремальных климатических условиях требуется учитывать возможное обледенение лопастей, возможные соударения летательного аппарата с элементами контактной сети при действии шквалистых ветров.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации железных дорог РФ (ПТЭ) [утверждены приказом Минтранса России от 23.06.2022 г. № 250]. – Текст : непосредственный.

2. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. Сборник карт технологических процессов. Часть 1, 2013 г. / ОАО «РЖД». – URL : http://static.scbist.com/scb/uploaded/1056_teh_kart.pdf. – Текст : электронный.

3. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. Сборник карт технологических процессов. Часть 2, 2013 г. / ОАО «РЖД». – URL : http://static.scbist.com/scb/uploaded/1284_1376325839.pdf. – Текст : электронный.

4. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. Сборник карт технологических процессов. Часть 3, 2013 г. / ОАО «РЖД». – URL : http://static.scbist.com/scb/uploaded/1469_1384856469.pdf. – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Менакер Константин Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и системы обеспечения движения поездов», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, menkot@mail.ru ;

Салтанова Дарья Евгеньевна, студентка гр. СОД.2-21-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Оленцевич В. А.

ОБОСНОВАННОСТЬ РАЗМЕЩЕНИЯ ПУНКТОВ КОММЕРЧЕСКОГО ОСМОТРА И ПОСТОВ КОММЕРЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Анализ существующей технологии работы и схемы размещения пунктов коммерческого осмотра, постов коммерческой безопасности и постов коммерческой диагностики на Восточном полигоне железных дорог позволил выявить лимитирующие элементы. Результаты проведенного обоснования размещения и присутствия данных пунктов на основе расчетов индекса необходимости размещения, подтвердили потребность составления оптимальных схем размещения пунктов коммерческого осмотра и постов коммерческой безопасности с учетом гарантийных расстояний безаварийного проследования грузовых поездов.

Ключевые слова: Восточный полигон железных дорог, обеспечение безопасности перевозочного процесса, пункт коммерческого осмотра поездов и вагонов, гарантийные расстояния, безаварийное проследование, случаи риска, инфраструктурный комплекс, обоснование размещения и присутствия.

Вопросы организации и проведения коммерческого осмотра поездов и вагонов на железнодорожных станциях, требования к техническому оснащению пунктов коммерческого осмотра (ПКО), постов коммерческой безопасности (ПКБ) и постов коммерческой диагностики (ПКД), а также методика их размещения требуют применения научных подходов и системного исследования, с целью повышения уровня сохранности и безопасности грузовых перевозок на Восточном полигоне железных дорог [1–3].

В зависимости от местных условий, рода подвижного состава, перевозимого груза и установленных программно-технических средств проведения коммерческого осмотра (ТСКО), осмотр может осуществляться: автоматизировано путем интеллектуальной обработки результатов контроля ТСКО и Единой автоматизированной системы актово-претензионной работы или визуально работниками, проводящими коммерческий осмотр. С целью повышения безопасности и уровня контроля состояния поездов и грузов на удлиненных гарантийных расстояниях между ПКО/ПКБ/ПКД необходимо предусматривать дополнительные меры, включая применение дистанционных методов диагностики [1, 3–5].

Анализ состояния безопасности и надёжности перевозочного процесса в хозяйстве грузовой и коммерческой работы ОАО «РЖД» – это комплексная деятельность, направленная на выявление рисков, оценку соответствия производственных процессов нормативным требованиям и разработку мер по устранению недостатков. Данная работа регламентируется рядом нормативных документов ОАО «РЖД» и включает использование факторного анализа, систем менеджмента безопасности движения, аудитов и других инструментов [1–5].

В рамках научного исследования с целью обоснования присутствия и размещения пунктов коммерческого осмотра и постов коммерческой безопасности на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) проведен анализ состояния безопасности и надёжности перевозочного процесса в хозяйстве грузовой и коммерческой работы за три года (1, 2, 3 периоды) [1, 6–9]. В соответствии с рис. 1 в целом по ВСЖД максимальное количество вагонов, осмотрено в коммерческом отношении во второй период, что составляло 13,65 млн вагонов. В третьем периоде данный показатель снижен на 1,8 %, по отношению к базовому периоду увеличение составило 21,27 %. Такое изменение показателя характерно пропущенному вагоно- и поездопотоку и в полной мере зависит от его параметров.

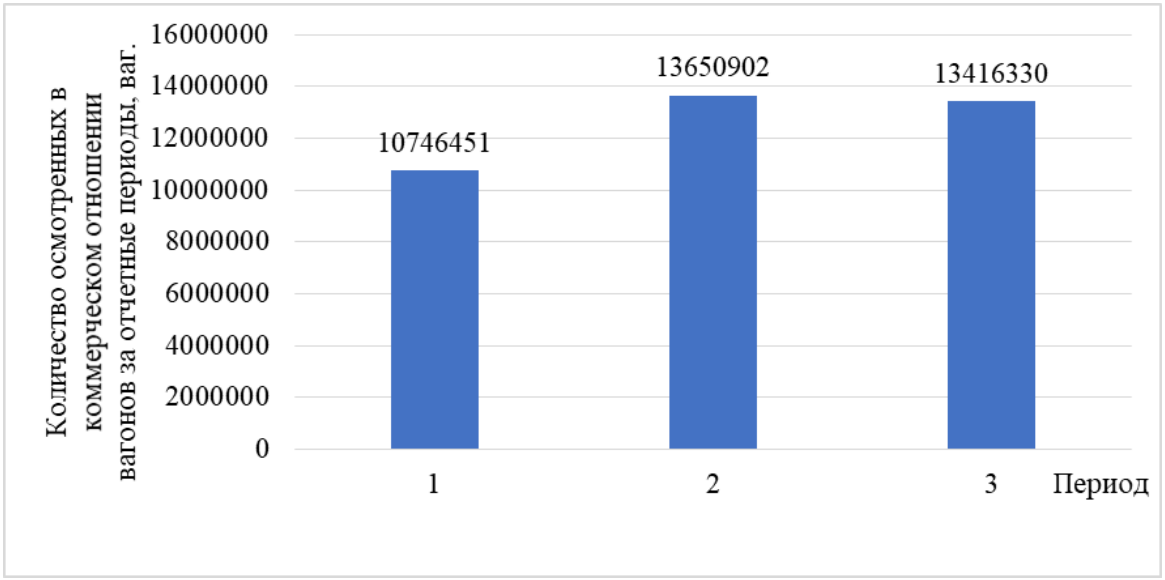


Рис. 1. Динамика вагонов, осмотренных в коммерческом отношении

Проведенный факторный анализ позволил выявить, что наиболее загруженным по количеству осмотренных в коммерческом отношении является ПКО станции И-С, его максимальная нагрузка наблюдалась во второй период и составляла 4,07 млн вагонов, минимальная нагрузка

в периоде 1 – 3,25 млн вагонов. Менее загруженным является ПКО станции Т-ш: максимальная загрузка 3,7 млн вагонов в третьем периоде, в первом периоде 3,3 млн вагонов. На третьем месте по загруженности ПКО станции У-У, его максимальная загрузка во втором периоде составляла 3,15 млн вагонов, минимальная 2,48 млн вагонов в первом периоде. Пункты ПКО/ПКБ/ПКД прочих станций ВСЖД имеют нагрузку менее 580 тыс. вагонов, из них наиболее крупным является ПКО станций Л и С, минимальную нагрузку имеет ПКБ станции Т, что определено на основе данных рис. 2.

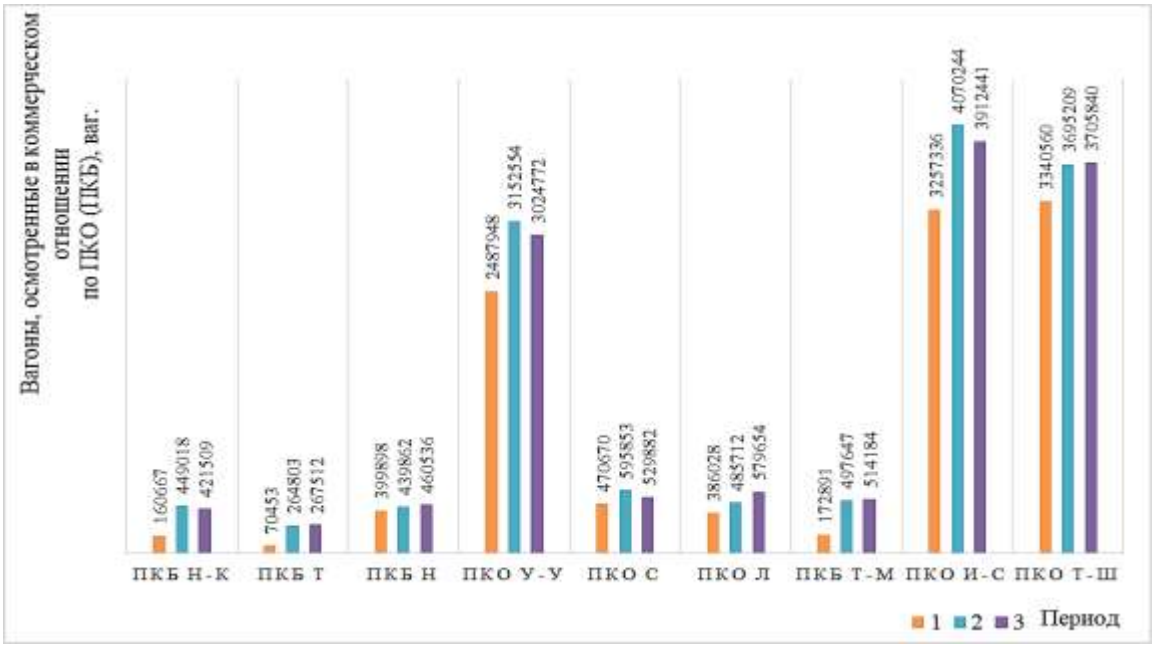


Рис. 2. Динамика вагонов, осмотренных в коммерческом отношении по ПКО/ПКБ/ПКД ВСЖД

В течение рассмотренного периода максимальное количество вагонов с коммерческими неисправностями, угрожающими безопасности движения поездов, отцепленных для устранения коммерческих неисправностей на ПКО/ПКБ/ПКД наблюдается по ПКО станции Т-ш – 71 вагон: в первый период – 43 вагона (максимальное значение), во второй период – 16 вагонов (– 62,8 %), в третий период – 12 вагонов (– 72,1 %), очевидна положительная динамика. По ПКО станции И-С за рассматриваемый период отцеплено 61 вагон: в первый период – 24 вагона (максимальное значение), во второй период – 18 вагонов (– 25 %), в третий период – 19 вагонов (– 20,83 %), динамика также положительная. По ПКО станции У-У за рассматриваемый период отцеплено 36 вагонов: в первый период – 25 вагона (максимальное значение), во второй период – 7 ваго-

нов (– 72 %), в третий период – 4 вагона (– 84 %), динамика положительная. По ПКБ станций Т-м, Т и ПКО станции Л наблюдается минимальное количество отцепленных вагонов, соответственно 0, 1, 2 (рис. 3).

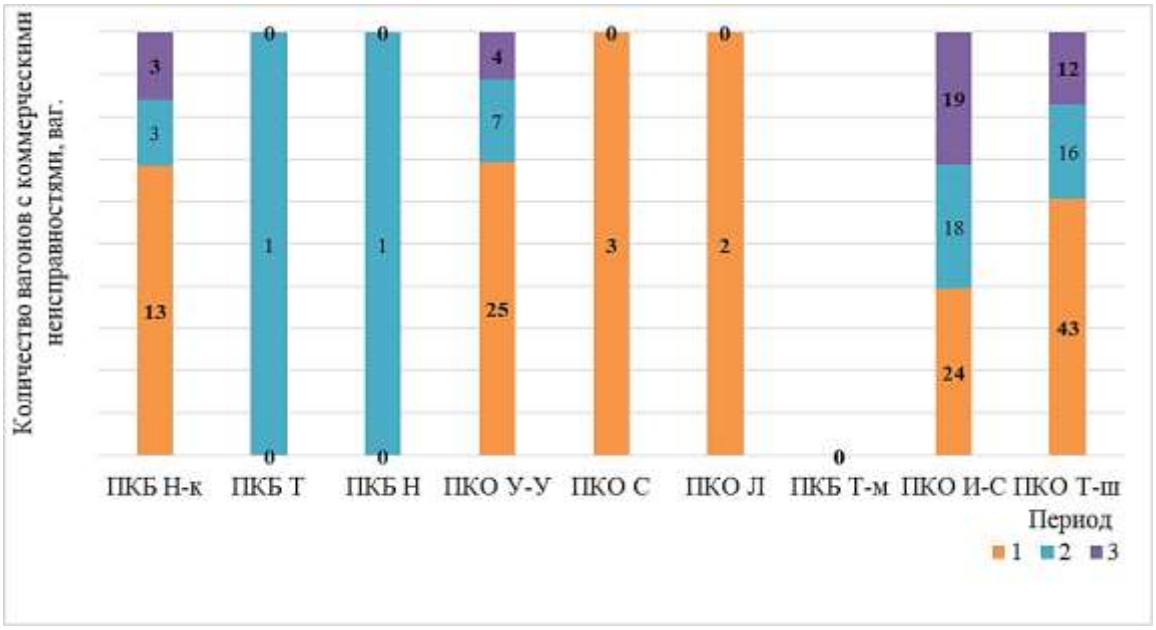


Рис. 3. Структура вагонов с коммерческими неисправностями по ПКО/ПКБ/ПКД

Анализ состояния безопасности и надежности перевозочного процесса в хозяйстве грузовой и коммерческой работы показал, что наибольшее количество случаев приходится на расстройство погрузки, в результате которой вагон отцеплен в пути следования для устранения коммерческой неисправности. Всего за рассмотренный период зафиксировано 227 случаев, из них максимальное количество во второй период – 89, минимальное в первый период – 54, динамика отрицательная, прирост в рассматриваемом периоде – 42,4 %.

На второй позиции по значимости – нарушение нормативных документов, регламентирующих размещение и крепление грузов в вагонах и контейнерах, в результате которых вагон отцеплен в пути следования для устранения коммерческой неисправности. Всего за рассмотренный период наблюдалось 130 случаев, максимальное количество во второй период – 57, минимальное в третий период – 33, в целом за период динамика положительная, сокращение – 17,5 % к базовому году. На третьем месте – превышение грузоподъемности вагона или контейнера. Всего за рассмотренный период зафиксировано 28 случаев, из них максимальное количество во второй период – 12, минимальное в первый и третий периоды – 8 случаев в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Анализ вагонов с коммерческими неисправностями по видам нарушений

Подразделение	Количество вагонов с нарушениями ($n_н$), ед.					Количество погруженных вагонов за отчетный период ($n_п$), ед.				
	Период			Отклонение от базового периода		Период			Отклонение от базового периода	
	1	2	3	абсолютное	процент	1	2	3	абсолютное	процент
Нарушения нормативных документов, регламентирующих размещение и крепление грузов в вагонах и контейнерах, в результате которых вагон отцеплен в пути следования для устранения коммерческой неисправности										
Всего	40	57	33	+7	82,5	884605	921367	929476	–44871	105,1
Превышение грузоподъемности вагона или контейнера										
Всего	8	12	8	0	0	884605	921367	929476	–44871	105,1
Расстройство погрузки, в результате которой вагон отцеплен в пути следования для устранения коммерческой неисправности										
Всего	54	89	84	–30	155,6	884605	921367	929476	–44871	105,1

Коммерческая неисправность означает нарушение установленных норм и правил, что может привести к возникновению случаев риска, поэтому соблюдение требований нормативных документов по размещению и креплению грузов является обязательным условием выполнения перевозки и сохранности грузов [1, 3–5].

Несмотря на то, что в первый период наблюдается минимальное количество вагонов, осмотренных в коммерческом отношении, в данном периоде присутствует максимальное количество вагонов с коммерческими неисправностями, угрожающими безопасности движения поездов, отцепленных для устранения на ПКО/ПКБ/ПКБ. В течении рассматриваемого периода данный показатель имеет тенденцию к снижению по сравнению с базой на 58,18 %.

Результаты данного анализа легли в основу обоснования размещения и присутствия ПКО/ПКБ/ПКБ на ВСЖД. Оценка выполнялась расчетным путем на основе индекса необходимости размещения (Ir), величина которого представляет собой сумму бальных критериев, определяемую по каждой станции.

Определение потребности и приоритета организации, размещения ПКО/ПКБ/ПКД на станциях ВСЖД целесообразно реализовывать

расчётным путем, с применением методов сравнительного анализа балльных критериев [1–5]: технических: наличие специализированных мест для устранения коммерческих неисправностей; присутствие горочных устройств определенной мощности; наличие технических средств для устранения коммерческих неисправностей и инфраструктурных возможностей для установки средств контроля (диагностики) подвижного состава и груза и пр.; технологических: структура и концентрация поездопотоков; параметры перерабатываемых станцией грузовых вагонов; технология работы с объектами инфраструктурного комплекса перевозчиков или государств; статистика (5 лет) по работе с коммерческими неисправностями, повлекшими операции по отцепке для устранения.

Результаты расчёта и обоснования присутствия представлены в табл. 2 [3–6, 10, 11].

Таблица 2

Расчет и обоснование присутствия ПКО/ПКБ/ПКД на ВСЖД

Критерий		Железнодорожная станция									
		Н	Т	У-У	Н-к	К-А	Л	С	Т-м	И-с	Т-ш
Наличие	Существующего ПКО/ПКБ/ПКД	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Специальных мест и технических средств для устранения коммерческих неисправностей	100	50	100	50	100	100	100	100	100	100
	Горочных устройств	0	9	0	0	9	0	0	0	64	80
	Технических средств контроля и диагностики подвижного состава и груза по каждому направлению прибытия	100	0	100	0	100	100	100	100	100	100
	Технической возможности установки средств контроля и диагностики подвижного состава и груза по каждому направлению прибытия	80	50	100	0	0	100	100	100	0	100
	Неблагоприятных особенностей инфраструктуры	0	0	10	25	0	20	20	10	20	0

Окончание табл. 2

Критерий	Железнодорожная станция									
	Н	Т	У-У	Н-к	К-А	Л	С	Т-м	И-с	Т-ш
Количество подходов к станции с различных направлений	50	50	50	30	40	40	30	30	50	50
Прием вагонов в поездах на инфраструктуру ОАО «РЖД» с инфраструктуры сопредельных государств, либо инфраструктуры иных перевозчиков	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Расположение станции на границе полигонов управления	100	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Структура грузопотоков	50	43	65	30	40	60	60	65	90	80
Количество перерабатываемых вагонов	80	60	65	50	75	80	80	75	65	67
Количество отцепленных вагонов	20	0	50	0	0	0	20	20	100	80
Сумма баллов	780	412	690	335	514	650	660	630	739	807
Обоснованность	ПКО	ПКД	ПКО	ПКД	ПКБ	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО	ПКО
Фактически	ПКБ	ПКБ	ПКО	ПКБ	ПКБ	ПКО	ПКО	ПКБ	ПКО	ПКО

По результатам расчетного обоснования необходимости размещения ПКО/ПКБ/ПКД на железнодорожных станций ВСЖД установлено следующее:

– на станциях У-У, К-А, Л, С, И-с, Т-ш обосновано наличие действующих ПКО/ПКБ;

– в соответствии с расчетным индексом на станциях Н и Т-м рекомендовано размещение ПКО при фактическом размещении ПКБ;

– на станциях Т и Н-к – размещение ПКД при фактическом размещении ПКБ.

Результат расчетного обоснования указывает на необходимость корректировки существующей схемы размещения ПКО/ПКБ/ПКД на станциях ВСЖД, при существующих параметрах пропуска вагоно- и поездопотока и с учетом действующих гарантийных расстояний между пунктами. Годовая экономия эксплуатационных расходов от оптимизации размещения и присутствия составила 45,61 млн руб./год.

Библиографический список

1. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. – URL : http://www.rzd.ru (дата обращения: 17.02.2026). – Текст : электронный.

2. Архит, Б. Восточный полигон железных дорог: эксплуатационные, технические и финансово-экономические аспекты деятельности / Б. Архит, Н. П. Асташков, Ю. И. Белоголов [и др.]. – Иркутск, 2025. – С. 319. – Текст : непосредственный.

3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2019 № 3116/р «Об утверждении Единого типового технологического процесса коммерческого осмотра и поездов на железнодорожных станциях». – Текст : непосредственный.

4. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.11.2017 № 2451 (ред. от 08.10.2020) «О вводе в действие Регламента многоступенчатого контроля по обеспечению безопасности движения при приеме груза и порожних вагонов к перевозке, в пути следования и при выдаче груза». – Текст : непосредственный.

5. Оленцевич, В. А. Техническая эксплуатация железнодорожного транспорта и безопасность движения / В. А. Оленцевич, Н. В. Власова, Е. В. Каимов. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2025. – 136 с. – Текст : непосредственный.

6. Отчетность ОАО «РЖД» (с аудиторским заключением за 12 месяцев) // ОАО «РЖД» : сайт. – URL : https://company.rzd.ru/ru/9471 (дата обращения: 19.03.2026). Методика проведения факторного анализа состояния безопасности и надёжности перевозочного процесса в хозяйстве грузовой и коммерческой работы [утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 20 июля 2020 г. № 1544/р.]. – Текст : электронный.

7. Оленцевич, В. А. Методическое и программное обеспечение прогнозирования значений уровня безопасности функционирования железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко. – Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2019. – 172 с. – Текст : непосредственный.

8. Яньшина, И. В. Оценка надежности организационно-технологических процессов инфраструктурных объектов на транспорте : специальность 05.02.22 «Организация производства (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Яньшина Ирина Викторовна, 2022. – 172 с. – Текст : непосредственный.

9. Оленцевич, В. А. Анализ причин нарушения безопасности работы железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 1(37). – С. 180–183. – Текст : непосредственный.

10. Гозбенко, В. Е. Повышение безопасности работы железнодорожной транспортной системы на основе автоматизации технологии размещения и крепления груза в вагоне / В. Е. Гозбенко, В. А. Оленцевич // Известия Транссиба. – 2013. – № 1(13). – С. 110–116. – Текст : непосредственный.

11. Григорьева, Н. Н. Анализ деятельности Восточного полигона как основы устойчивого развития Сибири и Дальнего Востока / Н. Н. Григорьева, К. И. Сидоренко // Молодая наука Сибири. – 2025. – № 2(28). – С. 326–338. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Оленцевич Виктория Александровна, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, olencevich_va@mail.ru.

Панков П. П., Бесполитов Д. В.,
Шаванов Н. Д., Коновалова Н. А.

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

В работе научно обоснованы закономерности структурообразования композиционного материала на основе полимерной матрицы и отходов обогащения, используемых в качестве наполнителя. Формирование структуры композита протекает за счет координационного взаимодействия между функциональными группами матрицы и катионами металлов наполнителя. Методом рентгеновской компьютерной микротомографии установлено образование пространственного каркаса, характеризующегося высокой плотностью связности и значительным отрицательным числом Эйлера. Выявлено доминирование пор с размерами 15–45 мкм и наличие большого количества изолированных микропор со средним размером 13 мкм. Сформированная пространственная микроструктурная топология обеспечивает низкий коэффициент теплопроводности материала (0,18 Вт/(м·К)) и максимальную марку водонепроницаемости (W20).

Ключевые слова: композиционные материалы, полимерная матрица, структурообразование, рентгеновская компьютерная микротомография, топология порового пространства, отходы обогащения, утилизация отходов.

Цель настоящей работы заключается в исследовании параметров пространственной топологии, определении объемной доли непрерывного каркаса и геометрических характеристик порового пространства композиционного материала, применимого для тепло- и гидроизоляции инженерных сооружений в криолитозоне. В качестве наполнителя полимерной матрицы композита использовали отходы обогащения с высоким содержанием комплексообразующих катионов металлов.

Данные рентгенофлуоресцентного анализа свидетельствуют, что наполнитель содержит, ω, %: 67,23 SiO_2; 15,30 Al_2O_3; 4,33 K_2O; 4,10 Na_2O; 2,45 Fe_2O_3; 1,97 CaO; 0,84 MgO; 0,37 TiO_2; 0,13 P_2O_5; 0,03 MnO; 2,46 – потери при прокаливании. Методом порошковой рентгеновской дифракции установлено, что в состав наполнителя входят: кварц (SiO_2; d = 4,31 Å; 3,34 Å; 1,93 Å); доломит ($CaMg(CO_3)_2$; d = 2,89 Å; 2,19 Å; 1,78 Å); анортит ($CaAl_2Si_2O_8$; d = 4,04 Å; 3,20 Å; 3,18 Å); альбит ($NaAlSi_3O_8$; d = 4,01 Å; 3,67 Å; 3,23 Å); мусковит ($KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$; d = 5,02 Å; 3,00 Å; 2,57 Å); санидин ($K(AlSi_3O_8)$; d = 4,24 Å; 3,31 Å; 3,27 Å); волластонит ($CaSiO_3$; d = 3,30 Å; 2,96 Å; 1,86 Å); каолинит ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$; d = 7,17 Å; 3,58 Å; 2,34 Å); микроклин ($KAlSi_3O_8$; d = 6,47 Å; 3,71 Å; 2,57 Å).

Реакционная способность наполнителя связана с высокой дефектностью кристаллической решетки полевошпатовых минералов (альбита, анортита, санидина), обусловленной процессами изоморфного замещения. Дефекты и изоморфные замещения в их структуре обеспечивают выход координационно-ненасыщенных катионов металлов в область высокодефектных поверхностей сколов, что создает энергетически благоприятные условия для последующего координационного взаимодействия с функциональными группами матрицы. Полученный композиционный материал является морозостойким и характеризуется теплопроводностью 0,18 Вт/(м·К). Показатель водонепроницаемости (t_i) составил не менее 3600 с, что соответствует максимальной марке (W20) и свидетельствует о предельной степени кольматации пор полимерной матрицей.

Изучение пространственной структуры композита и его геометрических параметров в объеме проводили методом рентгеновской компьютерной микротомографии. Анализ томографических срезов с пространственным разрешением 15 мкм выполняли с целью выявления взаимосвязи эксплуатационных свойств композита с его микроструктурной топологией. Полимерная матрица формирует стабильный пространственный каркас (см. Рисунок, а), занимающий наибольший объем композита – 76,28 % (533,78 мм^3).

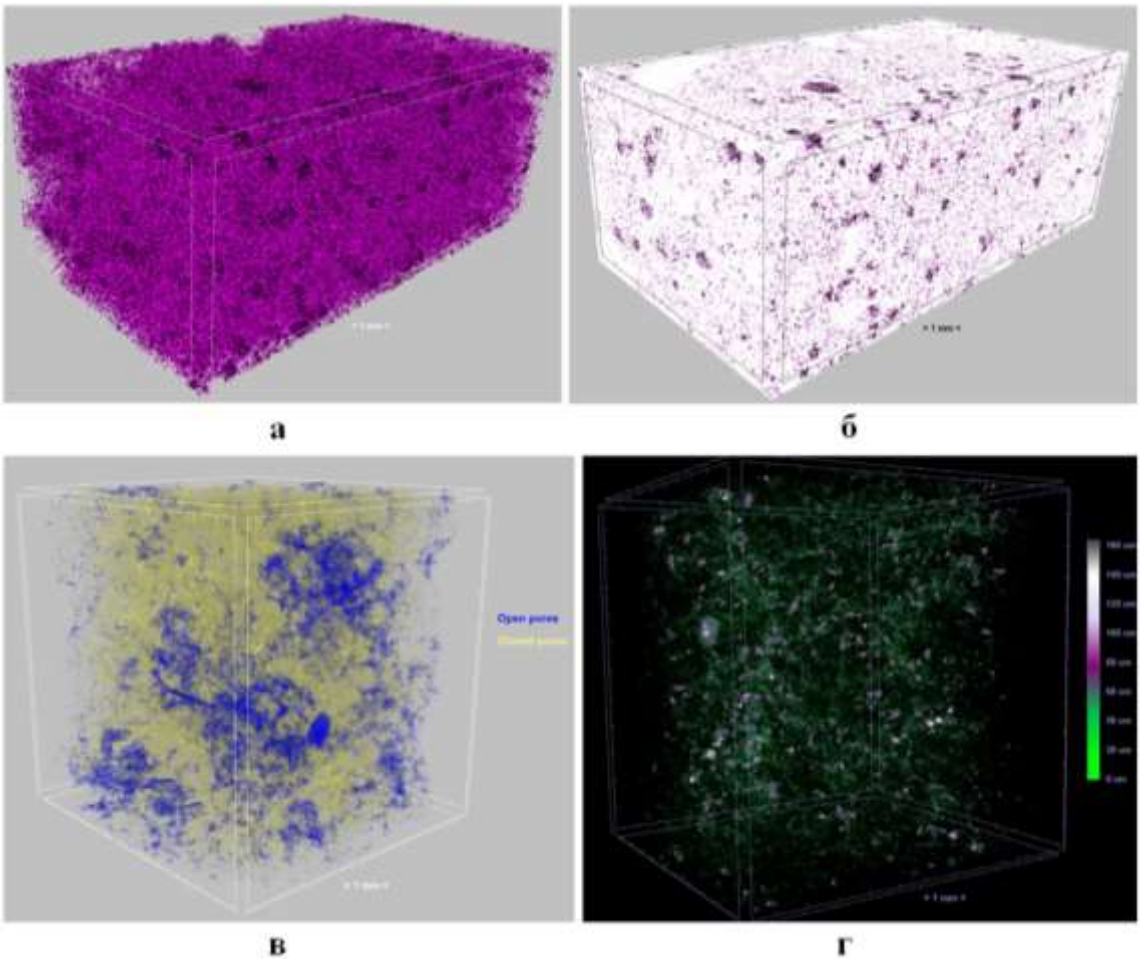


Рисунок. Микротомографические реконструкции пространственной структуры композита: **а** – пространственный каркас матрицы (фиолетовая фаза), поровое пространство (черные области); **б** – характер распределения закрытых пор в объеме; **в** – пространственная архитектура каналов поровой сети (открытые поры – синяя фаза; закрытые – желтая фаза); **г** – распределение пор по размерам (цветовая шкала 0–160 мкм)

Средняя толщина элементов структуры составила 74,77 мкм, показатель общей пористости – 23,72 %. Доля закрытых пор составляет лишь 0,37 %, однако выявлено их чрезвычайно высокое абсолютное количество (167385 единиц). Отношение суммарного объема закрытых пор (0,199 мм^3) к их количеству свидетельствует о том, что средний эквивалентный диаметр одной поры составляет всего 13 мкм. Данные поры распределены в объеме полимерного каркаса, формируя высокоячеистую микроструктуру с замкнутыми воздушными полостями микронного размера (см. Рисунок, б). Наличие в материале изолированных пор и отсутствие макроскопических полостей обусловливают его высокий показатель водонепроницаемости.

Зафиксировано высокое отрицательное число Эйлера (-488939) при плотности связности пространственного каркаса 993,54 мм$^{-3}$, что свидетельствует о формировании упругой разветвленной сетчатой топологии со значительным числом узлов и перемычек. Это подтверждает образование прочных координационных узлов сшивки между функциональными группами матрицы и ионами металлов в составе наполнителя. Поровое пространство характеризуется развитой извилистой сетью мелких каналов (см. Рисунок, в), что обеспечивает оптимальное значение теплопроводности композита (0,18 Вт/(м·К)). На объемной модели распределения пор по размерам (см. Рисунок, г) прослеживается упорядоченность структуры, обусловленная заполнением объема мелкими порами с размерами 20–60 мкм (зеленая гамма). Установлено, что 75,26 % от всех пустот приходится на микропоры с размерами 15–45 мкм. Суммарная доля пор до 75 мкм составляет 95,88 %, на долю каналов и каверн крупнее 75 мкм приходится лишь 4,12 %.

Анализ полученных данных в сравнении с параметрами матрицы без наполнителя, интегральная пористость которой составляет 17,1–18,0 %, свидетельствует о перестройке пространственной структуры материала при введении наполнителя. Рост общей объемной пористости композита до 23,72 % (около 6 % относительно исходной матрицы) связан с физико-химическим взаимодействием компонентов материала. Это проявляется в нарушении непрерывности полимерной фазы вследствие введения наполнителя, возникновении зон стерического стеснения макромолекул на границе раздела матрица – наполнитель, способствующих образованию дополнительных межфазных микропустот, и в инициировании интенсивного координационного взаимодействия. Образующийся пространственный каркас представляет собой высокосвязную микрокапиллярную систему, способную блокировать фильтрацию воды.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (Соглашение № 24-17-20003 от 12.04.2024 г.) «Научное обоснование способов получения композиционных материалов на основе отходов ГПК Забайкальского края и разработка технологий их использования в горной промышленности».

Сведения об авторах:

Панков Павел Павлович, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный универ-

ситет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, zabizht_engineering@mail.ru ;

Бесполитов Дмитрий Викторович, к.т.н., научный сотрудник Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, zabizht_engineering@mail.ru ;

Шаванов Николай Дмитриевич, к.т.н., младший научный сотрудник Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, zabizht_engineering@mail.ru ;

Коновалова Наталия Анатольевна, д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «ЗабИЖТ-Инжиниринг», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, zabizht_engineering@mail.ru.

Патароча И. К., Зарубин А. Д.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧАСТКА КУЛТУК – ПОРТ БАЙКАЛ

Исследование посвящено компьютерному моделированию системы электроснабжения участка Култук – Порт Байкал КБЖД с целью оценки качества электроэнергии в точках подключения потребителей. Результаты исследования указывают на необходимость модернизации данной системы. Выполнена оценка эффективности таких вариантов модернизации, как замена токоведущих элементов существующей ВЛ-6 кВ, в т. ч. и с увеличением сечения линии, так и повышение уровня напряжения в данной линии до 10 кВ. Полученные результаты исследования помогли установить оптимальный вариант решения проблемы, а именно перевод питающей линии с 6 кВ на 10 кВ без замены проводов этой линии.

Ключевые слова: система электроснабжения, качество электроэнергии, медленное изменение напряжения, компьютерное моделирование.

Обеспечение требуемого уровня качества электроэнергии [1–4] является одной из приоритетных задач при эксплуатации систем электроснабжения (СЭС). Вдоль исследуемого участка железной дороги Култук – Порт Байкал располагаются жилые поселки, научные учреждения, ряд туристических баз и большое количество памятников инженерного искусства [5]. Электроснабжение участка исторически организовано от ЛЭП 6 кВ, питающейся от подстанций Култук и Порт Байкал. Постепенный рост нагрузок и большая протяженность участка привели к проблеме недопустимого снижения уровня напряжения в точках подключения потребителей, подтверждением чего служат регулярные жалобы потребителей.

В данной работе поставлена задача оценки такого показателя качества электроэнергии у потребителей, как медленное изменение напряжения. Реализация данной задачи достигается путем создания модели системы электроснабжения участка в программно-вычислительном комплексе Fazonord [6-7]. Разработанная модель СЭС приведена на рис. 1, где подключенные комплектные трансформаторные подстанции (КТП) представлены в виде моделей силовых трансформаторов (СТ), также смоделированы воздушная линия электропередач (ЛЭП) и участки кабельной линии [7].

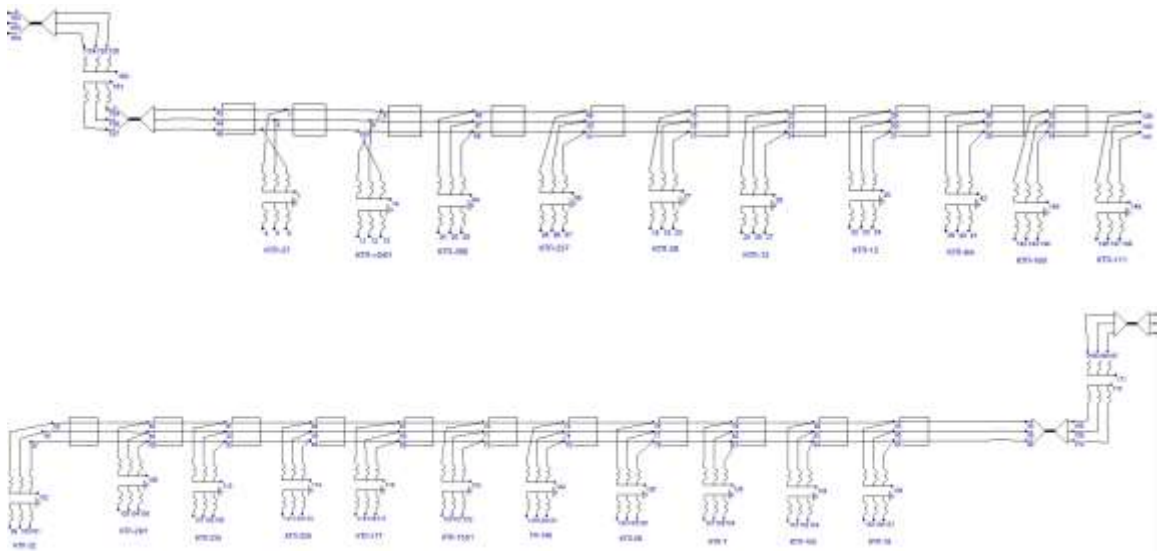


Рис. 1. Модель действующей системы электроснабжения участка Култук – Порт Байкал

В процессе компьютерного моделирования проведен расчет и анализ параметров режимов работы СЭС исследуемого участка при классе напряжения 6 кВ (табл. 1) для следующих вариантов:

– 1-й вариант: существующая ВЛ-6 кВ, выполненная проводом марки АС-70 и отрезки кабельных линий, отходящих на начальных участка от подстанций марки АПВпУ 3х150;

– 2-й вариант: замена провода воздушной линии на СИП-3 1х50 (минимальное сечение);

– 3-й вариант: замена провода воздушной линии на СИП-3 1х240 (максимальное сечение).

Таблица 1

Уровни напряжения обмоток низкого напряжения силовых трансформаторов КТП при ВЛ 6 кВ

№ п/п	Наименование КТП	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
		Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %	Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %	Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %
1	КТП-27	0,222	+0,91	0,218	-0,91	0,225	2,27
2	КТП-24/1	0,216	-1,82	0,211	-4,09	0,22	0,00
3	КТП-366	0,214	-2,73	0,207	-5,91	0,22	0,00
4	КТП-237	0,205	-6,82	0,193	-12,27	0,215	-2,27
5	КТП-28	0,202	-8,18	0,187	-15,00	0,215	-2,27
6	КТП-13	0,199	-9,55	0,184	-16,36	0,213	-3,18
7	КТП-12	0,199	-9,55	0,183	-16,82	0,212	-3,64
8	КТП-6А	0,198	-10,00	0,181	-17,73	0,211	-4,09
9	КТП-160	0,192	-12,73	0,175	-20,45	0,206	-6,36
10	КТП-111	0,191	-13,18	0,173	-21,36	0,205	-6,82
11	КТП-32	0,195	-11,36	0,178	-19,09	0,211	-4,09
12	КТП-20/1	0,196	-10,91	0,178	-19,09	0,211	-4,09
13	КТП-235	0,197	-10,45	0,181	-17,73	0,211	-4,09
14	КТП-228	0,199	-9,55	0,183	-16,82	0,213	-3,18
15	КТП-177	0,198	-10,00	0,181	-17,73	0,211	-4,09
16	КТП-153/1	0,2	-9,09	0,184	-16,36	0,213	-3,18
17	ТП-148	0,2	-9,09	0,184	-16,36	0,213	-3,18
18	КТП-56	0,205	-6,82	0,193	-12,27	0,215	-2,27
19	КТП-7	0,211	-4,09	0,202	-8,18	0,219	-0,45
20	КТП-155	0,211	-4,09	0,202	-8,18	0,218	-0,91
21	КТП-18	0,225	+2,27	0,222	0,91	0,226	2,73

По данным, приведенным в табл. 1, построен график медленного изменения напряжения для 3-х вышеуказанных вариантов (рис. 2). По анализу результатов можно сделать вывод, что при 1 варианте (АС-

70) медленное изменение напряжения достигает -13,18 % (191 В) ближе к середине участка, что не соответствует ГОСТ 32144-2013, согласно требований которого медленное изменение напряжения не должно превышать ±10 %. При 2-м варианте ситуация становится хуже практически на протяжении всего участка, медленное изменение напряжения достигает -21,36 % (173 В). 3-й же вариант полностью соответствует норме, т. к. минимальное значение напряжения составляет 205 В (-6,82 %) и максимальное - 226 В (+2,73 %).

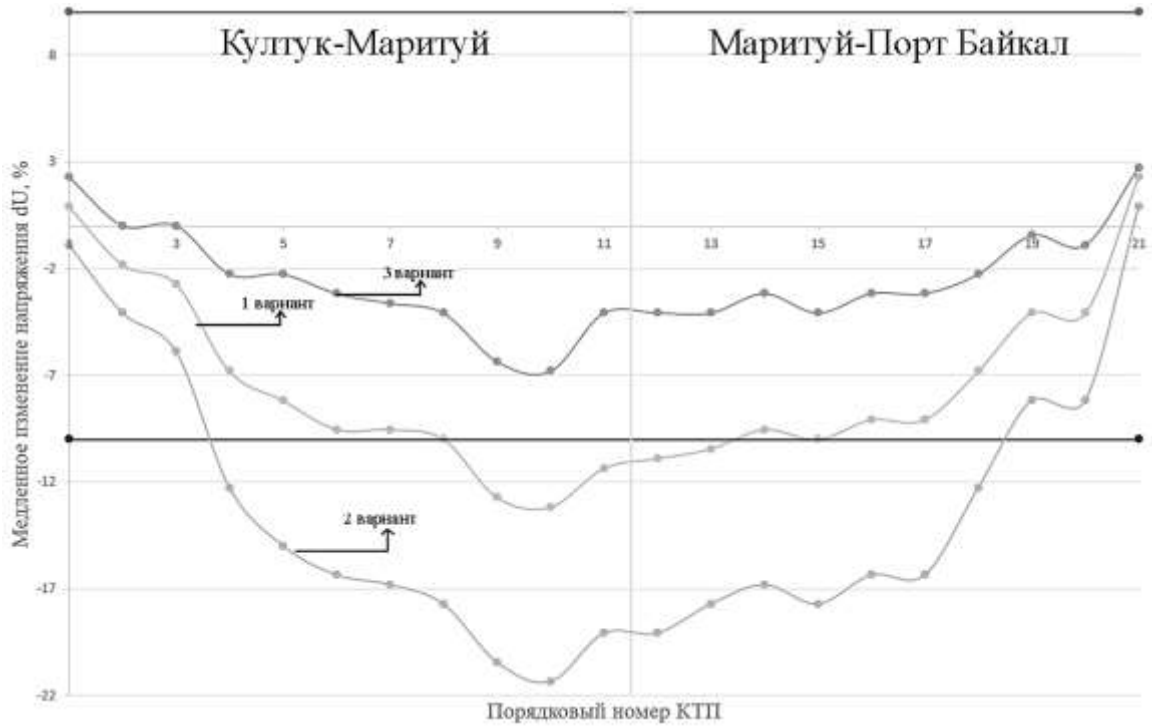


Рис. 2. График медленного изменения напряжения для трех вариантов при использовании ВЛ 6 кВ

Кроме рассмотренного варианта замены провода ЛЭП с серьезным увеличением его сечения, проанализируем целесообразность перевода данной линии на напряжение 10 кВ. Разработанная с этой целью модель СЭС с ВЛ 10 кВ приведена на рис. 3, кабельные линии отсутствуют, т. к. питание производится за счет монтажа к сборным шинам 10 кВ существующих подстанций Култук и Порт Байкал. Также заменены силовые трансформаторы КТП с предварительной оценкой коэффициента загрузки, что потребовало изменения мощности отдельных силовых трансформаторов. Данные выбора и расчета представлены в табл. 2 и на рис. 4.

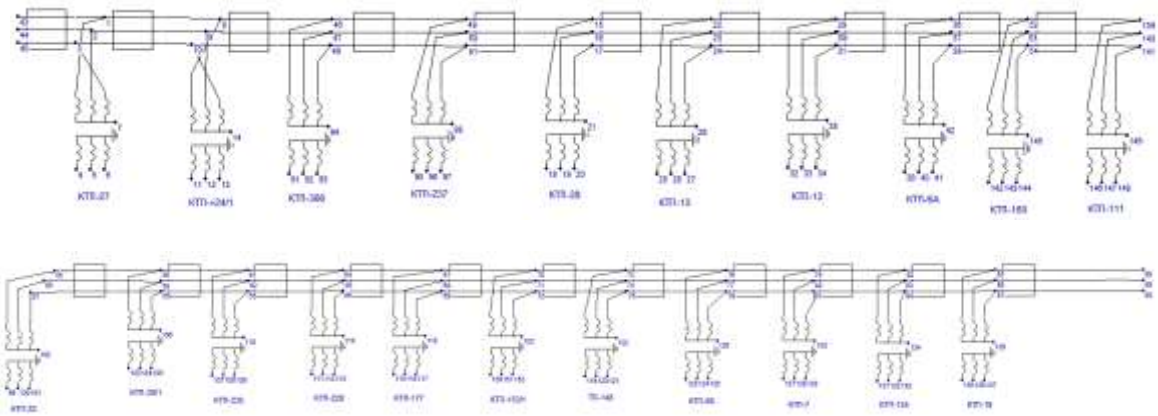


Рис. 3. Предлагаемая модель системы электроснабжения участка Култук – Порт Байкал при использовании ВЛ 10 кВ

Таблица 2

Выбор силовых трансформаторов и оценка коэффициента загрузки

Наименование	Существующий трансформатор	Коэффициент загрузки, %	Предлагаемый трансформатор	Коэффициент загрузки, %
КТП-24/1	ТМ-250-6/0,4	0,55	ТМ-160-10/0,4	0,87
КТП-27	ТМ-63-6/0,4	0,07	ТМ-25-10/0,4	0,17
КТП-366	ТМ-250-6/0,4	0,34	ТМ-100-10/0,4	0,84
КТП-237	ТМ-160-6/0,4	0,59	ТМ-160-10/0,4	0,59
КТП-28	ТМ-63-6/0,4	0,10	ТМ-25-10/0,4	0,26
КТП-13	ТМ-250-6/0,4	0,32	ТМ-100-10/0,4	0,79
КТП-6А	ТМ-400-6/0,4	0,45	ТМ-250-10/0,4	0,72
КТП-12	ТМ-25-6/0,4	0,26	ТМ-25-10/0,4	0,26
КТП-160	ТМ-25-6/0,4	0,90	ТМ-40-10/0,4	0,56
КТП-111	ТМ-25-6/0,4	1,07	ТМ-40-10/0,4	0,67
КТП-32	ТМ-250-6/0,4	0,23	ТМ-100-10/0,4	0,58
КТП №20/1	ТМ-160-6/0,4	0,16	ТМ-40-10/0,4	0,65
КТП-235	ТМ-100-6/0,4	0,38	ТМ-63-10/0,4	0,60
КТП-228	ТМ-250-6/0,4	0,05	ТМ-25-10/0,4	0,52
КТП-177	ТМ-63-6/0,4	0,44	ТМ-40-10/0,4	0,70
КТП-153/1	ТМ-63-6/0,4	0,27	ТМ-40-10/0,4	0,43
ТП-148	ТМ-250-6/0,4	0,65	ТМ-250-10/0,4	0,65
КТП-56	ТМ-160-6/0,4	0,26	ТМ-63-10/0,4	0,67
КТП-7	ТМ-250-6/0,4	0,21	ТМ-100-10/0,4	0,53
КТП-155	ТМ-250-6/0,4	0,31	ТМ-100-10/0,4	0,78
КТП-18	ТМ-63-6/0,4	0,12	ТМ-25-10/0,4	0,30

В процессе компьютерного моделирования проведен расчет и анализ параметров режимов работы СЭС исследуемого участка при классе напряжения 10 кВ (табл. 3) с аналогичными вышеуказанным вариантами.

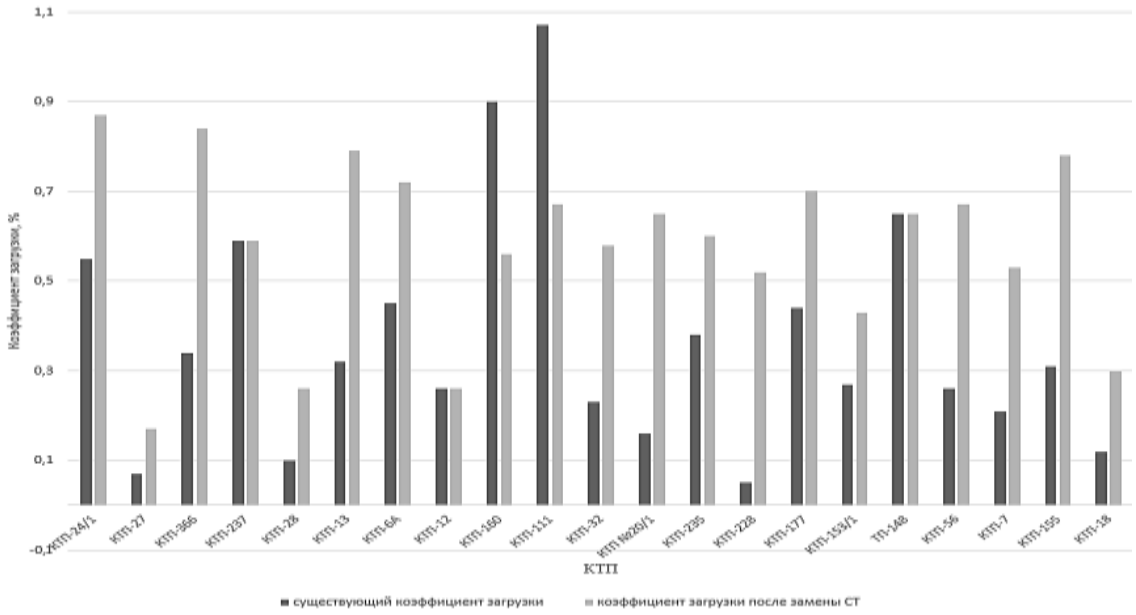


Рис. 4. Сравнительная диаграмма коэффициентов загрузки

Таблица 3

Уровни напряжения обмоток низкого напряжения силовых трансформаторов КТП при ВЛ 10 кВ

№ п/п	Наименование КТП	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
		Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %	Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %	Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %
1	КТП-27	0,227	+3,18	0,226	+2,73	0,228	+3,64
2	КТП-24/1	0,223	+1,36	0,221	0,45	0,225	+2,27
3	КТП-366	0,223	+1,36	0,22	0,00	0,225	+2,27
4	КТП-237	0,219	-0,45	0,214	-2,73	0,222	+0,91
5	КТП-28	0,22	0,00	0,214	-2,73	0,224	+1,82
6	КТП-13	0,218	-0,91	0,212	-3,64	0,223	+1,36
7	КТП-12	0,218	-0,91	0,212	-3,64	0,222	+0,91
8	КТП-6А	0,217	-1,36	0,21	-4,55	0,221	+0,45
9	КТП-160	0,212	-3,64	0,205	-6,82	0,217	-1,36
10	КТП-111	0,21	-4,55	0,204	-7,27	0,215	-2,27
11	КТП-32	0,217	-1,36	0,21	-4,55	0,222	+0,91
12	КТП-20/1	0,217	-1,36	0,211	-4,09	0,222	+0,91
13	КТП-235	0,216	-1,82	0,21	-4,55	0,221	+0,45
14	КТП-228	0,219	-0,45	0,213	-3,18	0,224	+1,82
15	КТП-177	0,216	-1,82	0,21	-4,55	0,221	+0,45
16	КТП-153/1	0,218	-0,91	0,212	-3,64	0,222	+0,91

Окончание табл. 3

№ п/п	Наименование КТП	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
		Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %	Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %	Уровень напряжения U, кВ	Медленное изменение напряжения ΔU, %
17	ТП-148	0,216	-1,82	0,21	-4,55	0,22	0,00
18	КТП-56	0,22	0,00	0,215	-2,27	0,224	+1,82
19	КТП-7	0,225	+2,27	0,219	-0,45	0,225	+2,27
20	КТП-155	0,221	0,45	0,218	-0,91	0,224	+1,82
21	КТП-18	0,227	+3,18	0,227	+3,18	0,228	+3,64

По данным, приведенным в табл. 3, построен график медленного изменения напряжения для 3-х вариантов при переходе на напряжение 10 кВ (рис. 5). По анализу результатов можно сделать вывод, что во всех вариантах медленное изменение напряжения не превышает допустимых значений. Вследствие этого приходим к выводу, что повышение уровня напряжения с 6 кВ до 10 кВ решает проблему качества электроэнергии на данном участке без необходимости замены или увеличения сечения линии, при этом существующие опоры могут быть использованы для данного класса напряжения.

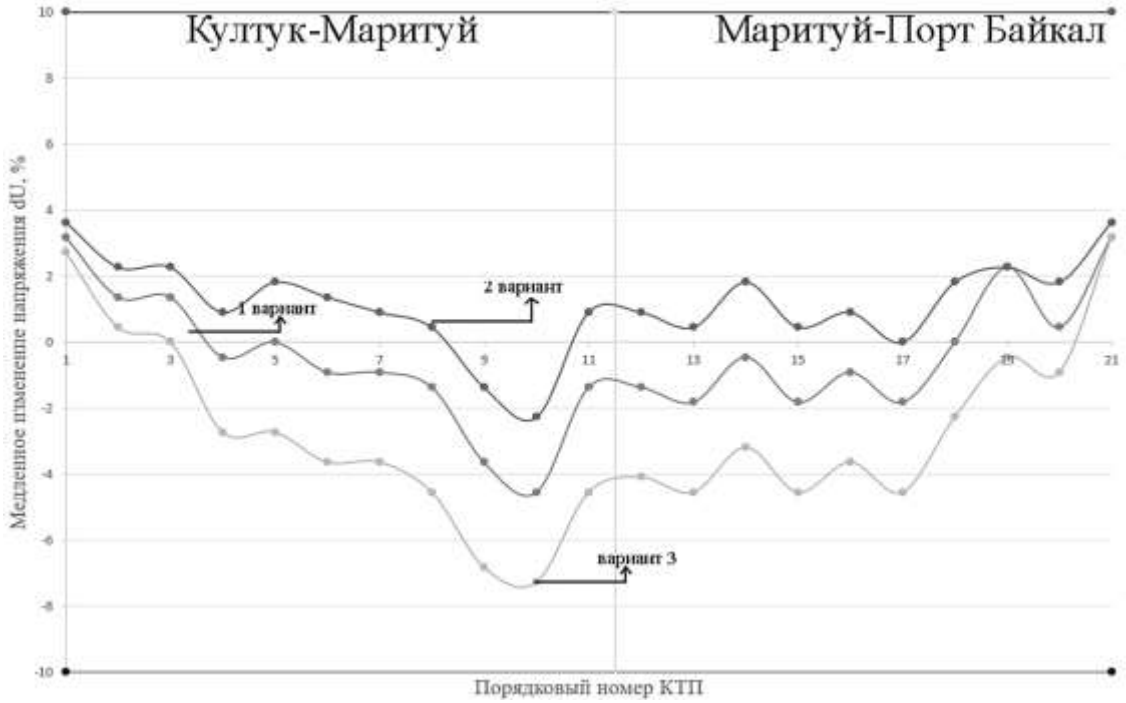


Рис. 5. График медленного изменения напряжения для трех вариантов (ВЛ 10 кВ)

Таким образом, выполненное исследование позволяет сделать вывод о необходимости модернизации СЭС участка Култук – Порт Байкал. Рассмотренные варианты модернизации позволяют сделать о вывод о целесообразности перевода питающей линии с 6 кВ на 10 кВ с заменой силовых трансформаторов на КТП, в т. ч. и с учетом рационализации их загрузки. Предлагаемое техническое решение соответствует требованиям энергетического менеджмента [8], поскольку направлено на стабилизацию уровня напряжения в точках подключения потребителей, снижение потерь электрической энергии [9] и повышение надежности работы всех устройств СЭС.

Библиографический список

1. Kovernikova, L. Problems of the current state of power quality and proposals for their solution / L. Kovernikova // E3S Web of Conferences. – 2023. – N. 461. – C. 01046. – Текст : непосредственный.

2. Коверникова, Л. И. Об управлении качеством электрической энергии в России в прошлом, настоящем и будущем / Л. И. Коверникова, А. В. Серков, Р. Г. Шамонов // Энергетическая политика. – 2018. – № 1. – С. 75–85. – EDN UQCQDT. – Текст : непосредственный.

3. Самохина, Е. В. Влияние качества электрической энергии на эффективность ее передачи: оценка существующего положения дел / Е. В. Самохина, С. И. Макашева // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2024. – Т. 2. – С. 203–206. – EDN FJNVXI. – Текст : непосредственный.

4. Морозов, Е. А. Учет влияния устройств фильтрации и компенсации на показатели качества электрической энергии СТЭ при пропуске поездов повышенной массы / Е. А. Морозов, В. В. Фаренык, М. В. Востриков, В. А. Тихомиров // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 4(18). – С. 94–108. – EDN KNOMAK. – Текст : непосредственный.

5. Епанчинцев, К. И. Кругобайкальская железная дорога: история строительства и функционирования / К. И. Епанчинцев // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы Региональной студенческой научно-практической конференции. В 2-х томах, г. Иркутск, 17 марта 2016 г. Том 2. – Иркутск : Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского. – 2016. – С. 268–272. – EDN ZNWISD. – Текст : непосредственный.

6. Крапивин, М. И. Разработка технических решений по увеличению пропускной способности системы тягового электроснабжения участка Восточного полигона / М. И. Крапивин, А. П. Куцый, Е. Ю. Пузина // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера Рос-

сии : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Москва. – 2024. – С. 180–186. – EDN IKOYUQ. – Текст : непосредственный.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018613909 Российская Федерация. Fazonord-АРС : № 2018611216 : заявл. 25.01.2018 : опубл. 27.03.2018 / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Смарт грид». – EDN NNLHHX. – Текст : непосредственный.

8. Горбунова, В. С. Эффективность внедрения энергетического менеджмента в промышленных компаниях России / В. С. Горбунова, Е. Ю. Пузина // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4. – № 1. – С. 119–137. – EDN XNZJUL. – Текст : непосредственный.

9. Капранов, П. А. Реконструкция районов электрических сетей с целью снижения потерь мощности / П. А. Капранов, Е. Ю. Пузина // Транспорт: наука, образование, производство : труды Международной научно-практической конференции. – Ростов-на Дону. – 2020. – С. 113–116. – EDN BUIIIK. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Патароча Иван Константинович, студент группы СОД 1-21-1, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, ivaneska23@mail.ru ;

Зарубин Андрей Денисович, старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика транспорта», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, zarubin_ad@irgups.ru.

Пузина Е. Ю.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ХАРАКТЕРИСТИКАХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ К ПРИМЕНЕНИЮ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

В статье рассматриваются современные тенденции в характеристиках силовых трансформаторах, определяющие их преимущества и потенциальную область применения. Приведены результаты анализа таких трансформаторов, как: силовые трансформаторы с уменьшенными потерями и с улучшенным управлением нагрузки, газоизолированные и умные трансформаторы, а также экологически чистые транс-

форматоры. Даны рекомендации по применению на тяговых подстанциях электрифицированных железных дорог силовых трансформаторов с точки зрения оптимального сочетания их основных технических и экономических характеристик.

Ключевые слова: тяговые подстанции, силовые трансформаторы, современные тенденции, газоизолированные и умные трансформаторы.

При выборе новых силовых трансформаторов в целях реконструкции энергетических объектов [1] важно учитывать ряд параметров, таких как потери мощности, надёжность, эффективность, а также способность оборудования работать в условиях высоких нагрузок и обеспечивать соответствие экологическим нормам. Рассмотрим современные тенденции в применении силовых трансформаторов с улучшенными характеристиками.

1. *Трансформаторы с уменьшенными потерями* [2–4].

Силовые трансформаторы с низким уровнем потерь предназначены для снижения операционных расходов и уменьшения воздействия на окружающую среду. С целью снижения потерь холостого хода и короткого замыкания в этих трансформаторах применяют такие магнитные материалы, как аморфные сплавы и стали, содержащие кремний, обладающие высокой магнитной проницаемостью. К основным особенностям данных силовых трансформаторов можно отнести следующее:

– в качестве материала магнитопровода используются:

а) *аморфные металлы* имеют неупорядоченную атомную структуру, что приводит к низкой магнитной анизотропии и, соответственно, к уменьшению потерь холостого хода. Стоит отметить, что потери на магнитное насыщение при этом могут быть уменьшены на 70 % и более.

б) *кремнистые стали с высокой магнитной проницаемостью* в своем составе имеют до 3% кремния. Это приводит к увеличению электрического сопротивления материала магнитопровода, что, в свою очередь, вызывает уменьшение потерь от вихревых токов в стали.

– изменения в конструкции трансформатора:

а) применение *ступенчатых или секционированных магнитопроводов* приводит к уменьшению длины петли магнитного потока. Следствием такого изменения конструкции является уменьшение значения вихревых токов и, соответственно, снижение потерь холостого хода.

б) применение *современных изоляционных материалов*, которые повышают электробезопасность и приводят к снижению тепловых потерь в трансформаторе.

– снижение объема потребляемой электроэнергии и влияния на экологию:

а) *трансформаторы с уменьшенными потерями* отличаются менее интенсивным нагревом материала магнитопровода и обмоток, что приводит к снижению электропотребления системами охлаждения, а это, в свою очередь, влияет на уменьшение выбросов углекислого газа в атмосферу, так как для производства данного объема электроэнергии потребуется сжигание меньшего объема топлива на электростанциях.

2. *Газоизолированные трансформаторы (ГИТ).*

В ГИТ в качестве изоляции и охлаждающей среды используется элегаз [5] или другие несжимаемые изолирующие газы. Такие трансформаторы благодаря свойствам элегаза лучше всего использовать при ограниченной площади электроустановки или в условиях, требующих обеспечения высокой пожарной безопасности. К преимуществам ГИТ можно отнести следующее:

– уменьшение габаритов трансформатора, что обеспечивается за счет высокой электрической прочности элегаза, которая в три раза выше чем у воздуха;

– пожарная безопасность, так как элегаз является негорючим веществом. Это предотвращает риск возгорания, который может возникнуть при использовании масляных трансформаторов;

– плотность и охлаждение. SF_6 обладает хорошими теплопроводными свойствами, что способствует эффективному охлаждению трансформатора. Это повышает надежность и продлевает срок службы оборудования;

– экологичность. Применение SF_6 и аналогичных газов сокращает риски утечек наружу потенциально опасных веществ, что снижает воздействие на окружающую среду по сравнению с традиционными масляными трансформаторами;

– применение в ограниченных пространствах. Использование газоизолированных трансформаторов идеально подходит для размещения в местах с ограниченным пространством, т. к. оборудование имеет компактные размеры при сохранении высокой мощности;

– низкие эксплуатационные и обслуживающие расходы. GIT требуют меньше обслуживания по сравнению с масляными трансформаторами, так как нет необходимости в частой замене изоляционного масла и связанных с этим процедур.

Примерами газоизолированных трансформаторов могут служить такие модели, как GE g3™, в которых используется альтернативный газ, разработанный для замены элегаза, обладающий сниженным воздей-

ствием на парниковый эффект, или модели от Siemens и ABB, которые производят такие трансформаторы различной мощности. Единственным, но существенным ограничением для использования данных трансформаторов, является высокая первоначальная стоимость, поскольку 1 кг элегаза имеет стоимость в 20 раз превышающую стоимость 1 кг трансформаторного масла.

3. *Умные трансформаторы.*

Умные трансформаторы – это передовая модификация традиционных трансформаторов, интегрированная с современными технологиями информационного обмена, мониторинга и аналитики [6–9]. Они играют ключевую роль в современных энергосистемах, особенно в контексте умных сетей (smart grids). К их основным характеристикам относится следующее.

– оснащение и функционал:

а) Датчики. Умные трансформаторы оснащены множеством датчиков, которые собирают данные о текущем состоянии трансформатора. Эти датчики измеряют температуру, вибрацию, давление, уровень изоляционного масла и другие критические показатели;

б) Связь. Трансформаторы оборудованы средствами связи, которые позволяют им передавать собранные данные в центральную систему управления или непосредственно в облачные сервисы для анализа и хранения. Это позволяет операторам системы в реальном времени получать оперативную информацию о состоянии оборудования;

в) Интеграция с системами управления. Умные трансформаторы тесно интегрированы с системами управления энергетическими потоками. Это обеспечивает возможность автоматического регулирования работы трансформатора в зависимости от текущих потребностей энергосистемы.

– предиктивное обслуживание:

а) Анализ данных. Проанализировав данные с датчиков, можно точно определить текущее состояние трансформатора, предсказать потенциальные неисправности и определить оптимальные интервалы для технического обслуживания;

б) Предотвращение аварий и сбоев. За счет выявления причин возможных неисправностей на ранней стадии появляется реальная возможность устранить их до возникновения и тем самым предотвратить развитие серьезных аварий;

в) Снижение затрат на эксплуатацию. Предиктивное обслуживание силовых трансформаторов позволяет избежать дополнительных затрат на материалы, запасные части, временные затраты персонала, связанные

с ремонтом поврежденного оборудования и также продлить срок его эксплуатации.

Умные силовые трансформаторы массово выпускают такие производители, как Siemens, ABB и GE. Их применение обеспечивает повышение энергоэффективности, управляемости режимами работы энергообъектов и повышение надежности их эксплуатации.

4. *Трансформаторы с улучшенным управлением нагрузки.*

Данные трансформаторы, будучи оснащенными система управления, обеспечивают регулирование напряжения в зависимости от нагрузки, что особенно актуально при резко переменном характере нагрузки, например в системах тягового электроснабжения на электрифицированных железных дорогах. Рассмотрим особенности и преимущества данных трансформаторов.

К особенностям можно отнести следующее:

а) Наличие регулируемых обмоток или специальных устройств для изменения коэффициента трансформации, что обеспечивает возможность быстрого изменения, например, уровня выходного напряжения при изменении нагрузки;

б) Оснащение трансформаторов дополнительными устройств управления нагрузкой, например, онлайн-регуляторами напряжения или устройствами управления фазовым углом, которые являются более чувствительными к изменениям нагрузки и обеспечивают более точный контроль параметров режима работы сети;

в) Наличие возможности включения данных трансформаторов в расширенные системы управления распределением электроэнергии, что обеспечивает их эффективное взаимодействие с другими элементами сети.

Преимуществами этих силовых трансформаторов является следующее:

а) Повышение качества электроэнергии, которое обеспечивается за счет регулирования не только величины напряжения по фазам, но и управления фазовым углом напряжения;

б) Повышение надежности работы энергосистемы в целом. Это достигается благодаря наличию возможности оперативно изменять параметры трансформаторов, что предотвращает перегрузки трансформаторов и возможные в связи с эти аварии;

в) Обеспечение энергосбережения. Данное преимущество реализуется в связи с наличием возможности более точного управления процессом выработки и потребления мощности, что позволяет оптимально использовать доступные энергетические ресурсы.

5. *Экологически чистые трансформаторы.*

К данной категории могут быть отнесены не только сухие трансформаторы, но и масляные силовые трансформаторы, заполняемые биоразлагаемым изоляционным маслом. Это приводит к снижению вредного влияния на экологию и упрощает утилизацию данного оборудования по окончании его срока эксплуатации.

Проведенный анализ характеристик современных силовых трансформаторов дает возможность разработать рекомендации по выбору оптимальных силовых трансформаторов для реконструкции тяговых подстанций электрифицированных железных дорог [10]. Считаем, что по сочетанию технических и экономических характеристик наиболее приемлемо использовать. силовые трансформаторы с уменьшенными потерями холостого хода и короткого замыкания, со ступенчатыми или секционированными магнитопроводами, оснащенными системами мониторинга и диагностики (умные трансформаторы), с улучшенным управлением нагрузки, экологически чистые. Это обеспечит существенное снижение эксплуатационных расходов, повысит надежность и безопасность работы систем электроснабжения, в частности, и для электрифицированных железных дорог.

Библиографический список

1. Пузина, Е. Ю. Выбор оптимальных видов оборудования уровня процесса и уровня подстанции цифровой тяговой подстанции / Е. Ю. Пузина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 1(73). – С. 133–144. – EDN NPOIMS. – Текст : непосредственный.

2. Ивакин, В. Н. Управляемые шунтирующие реакторы ОАО «Электрозавод» / В. Н. Ивакин, В. Д. Ковалев, А. А. Магницкий // Электроэнергия. Передача и распределение. – № 4(55). – 2019. – С. 88–93. – EDN DTPGFO. – Текст : непосредственный.

3. Евдокунин, Г. А. Оценка эффективности снижения потерь активной мощности в элементах электропередачи при применении управляемых шунтирующих реакторов / Г. А. Евдокунин, С. В. Смоловик // Энергоэксперт. – 2008. – № 4. – ISBN 978-5-905657-07-8. – Текст : непосредственный.

4. Капранов, П. А. Реконструкция районов электрических сетей с целью снижения потерь мощности / П. А. Капранов, Е. Ю. Пузина // Транспорт: наука, образование, производство : труды Международной научно-практической конференции. – Ростов-на Дону. – 2020. – С. 113–116. – EDN BUIIIK. – Текст : непосредственный.

5. Игнатко, Д. В. Предложения по сокращению времени на диагностику элегазового оборудования / Д. В. Игнатко, К. Р. Зеленский, Л. Л. Буитрон Карпио // Образование – Наука – Производство : материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. – Чита, 2025. – С. 206–210. – EDN CEPPMM. – Текст : непосредственный.

6. Куцый, А. П. Общие вопросы применения искусственного интеллекта в отрасли железнодорожного транспорта Российских железных дорог / А. П. Куцый, И. Ю. Шеметова, Д. В. Хамидулина // Молодая наука Сибири. – 2025. – № 1(27). – С. 69–73. – EDN MFSEAS. – Текст : непосредственный.

7. Худоногов, И. А. Автоматическое управление режимами электроэнергетических систем / И. А. Худоногов, А. А. Галков // Технико-экономические проблемы развития регионов: материалы Научно-практической конференции с международным участием. – Иркутск, 2024. – С. 227–230. – EDN NXMDAR. – Текст : непосредственный.

8. Пузина, Е. Ю. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций / Е. Ю. Пузина, А. Г. Туйгунова, И. А. Худоногов. – Иркутск, 2020. – 184 с. – EDN XCMBSL. – Текст : непосредственный.

9. Раздобреева, А. А. Способ комплексной оценки текущего состояния и мониторинга остаточного ресурса тяговых трансформаторов на Забайкальской железной дороге с использованием современных технических подходов / А. А. Раздобреева, М. В. Востриков, В. А. Тихомиров // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 2(16). – С. 118–130. – EDN MKGUIS. – Текст : непосредственный.

10. Зарубин, А. Д. Перспективное направление проведения технической модернизации тягового электроснабжения железных дорог / А. Д. Зарубин, Л. А. Астраханцев, В. А. Тихомиров // Молодая наука Сибири. – 2023. – № 3(21). – С. 22–31. – EDN QMOJUK. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Пузина Елена Юрьевна, к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, lena-rus05@mail.ru.

Ростовцева Д. А., Турчик С. Е., Андреева Е. А.

АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОТОЧНОЙ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ В РАМКАХ ПРОЕКТА ВСМ

Статья посвящена анализу решений, применяемых при создании высокоточной координатной системы. Для соблюдения требований безопасности на всех этапах жизненного цикла объектов ВСМ необходимо постоянное геодезическое обеспечение, основывающееся на ВКС, которая формирует единое цифровое пространство, использующееся для сбора, анализа, уточнения и применения достоверных пространственных данных. Проведен анализ решений, применяемых при создании высокоточной координатной системы. Обоснована необходимость использования проекции, представляющей собой косую цилиндрическую эквидистантную проекцию.

Ключевые слова: высокоточная координатная сеть, высокоскоростная железнодорожная магистраль, инженерно-геодезические изыскания, цифровая модель, картографическая проекция.

В настоящее время ОАО «РЖД» активно реализует проекты высокоскоростных железнодорожных магистралей, скорость движения на которых будет достигать 380 км/ч [1]. Проектирование, строительство и эксплуатация таких объектов требуют иных подходов по сравнению с обычными железными дорогами, поскольку увеличение скорости приводит к росту динамических нагрузок на все объекты инфраструктуры. Тем самым реализация подобных проектов предъявляет повышенные требования к геометрическим параметрам ж/д пути.

Для реализации подобных проектов ОАО «РЖД» развивают высокоточную координатную систему (далее – ВКС). Такая система позволяет осуществлять контроль геометрии пути, а также проводить комплексную диагностику пути и состояния элементов инфраструктуры в едином координатном пространстве. Данная система незаменима при проведении инвентаризации и паспортизации железнодорожной инфраструктуры, а также при уточнении границ полосы отвода.

На этапе проектирования на базе ВКС проводятся инженерно-геодезические изыскания, формируется проектная и рабочая документация с привязкой к единой цифровой модели местности. Этап строительства включает в себя геодезическую разбивку осей и конструктивных узлов, постоянный мониторинг возводящихся объектов, обеспечение основы для укладки пути в плане и профиле, корректировку фактического

положения ж/д пути, а также поэтапную фиксацию результатов в виде исполнительных съемок [2]. При эксплуатации происходит регулярное наблюдение за состоянием инфраструктуры, геодезический контроль деформаций, осадок и смещений.

ВКС является информационно-аналитической основой и служит базой при ведении геоинформационной системы, тем самым обеспечивая поддержку цифровых двойников объекта. Также ВКС обеспечивает корректность работы путеизмерительных комплексов и диагностических вагонов, которые оснащены системами автоматики и телемеханики.

Архитектура ВКС представлена на рис. 1.



Рис. 1. Архитектура высокоточной координатной системы ОАО «РЖД»

Структура опорной геодезической сети представлена на рис. 2. ОГС состоит из главных и промежуточных пунктов. Среднеквадратическая погрешность взаимного расположения смежных пунктов не должна превышать 8 мм в плане и 5 мм по высоте (Балтийская система высот). Каждый пункт ОГС привязывается к реперам ГВО одиночными ходами геометрического нивелирования III класса.

В качестве основы для ВКС в рамках исследования рассматривается использование проекции В. А. Коугия, представляющей собой косую цилиндрическую эквидистантную проекцию (см. Таблицу).

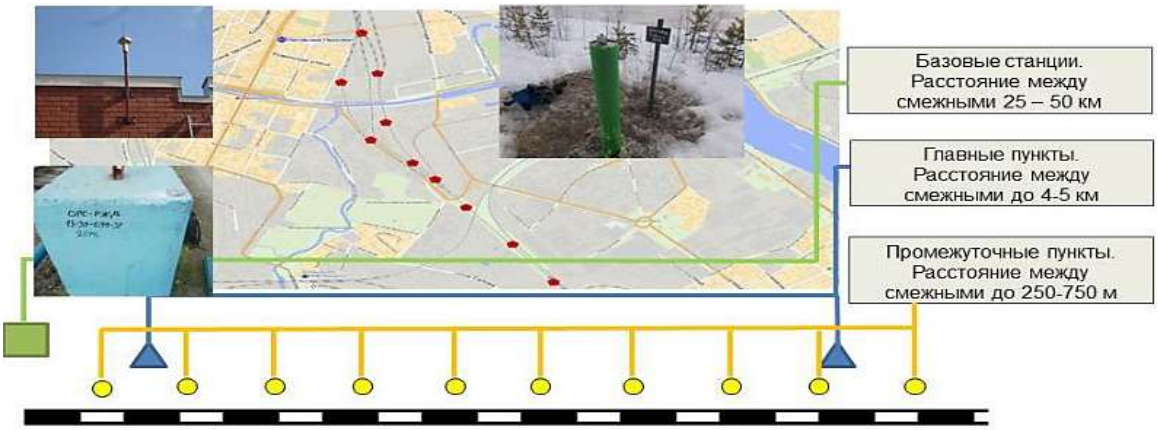


Рис. 2. Структура опорной геодезической сети ВКС ОАО «РЖД»

Таблица

Сравнение проекций и их применимость для ВСМ

Характеристика	Проекция Гаусса–Крюгера	Универсальная поперечная проекция Меркатора	Проекция В. А. Коугия
Основа	Осевой меридиан зоны	Осевой меридиан зоны	Ось трассы линейного объекта
Искажения длин вдоль трассы	Зависят от угла пересечения меридиана и расстояния до него; могут быть значительными	Зависят от угла пересечения меридиана и расстояния до него; могут быть значительными; общий масштаб 0,9996	Минимальны, специально оптимизированы под направление трассы
Применимость для ВСМ	Не рекомендуется для длинных извилистых трасс из-за необходимости стыковки зон	Не рекомендуется для длинных извилистых трасс из-за необходимости стыковки зон	Рекомендуется как основная система для проектирования, строительства и эксплуатации

Такое решение подходит для линейно-протяженных объектов (железных дорог, каналов, трубопроводов, ЛЭП и пр.) и позволяет минимизировать линейные и угловые искажения при создании плоских систем координат, тем самым обеспечивая достаточную точность измерений на всей протяженности объекта. В качестве высотной основы используется Балтийская система высот 1977 года. В классической геодезии при изображении земной поверхности на плоскости зачастую используется проекция Гаусса–Крюгера. Но при возведении линейных объектов такая проекция имеет свои недостатки:

– Земля разбивается на 6 и 3-градусные зоны, переход из одной в другую между которыми накапливает искажения;

– минимальные искажения в каждой зоне приходятся на зону осевого меридиана зоны, а, следовательно, при удалении от осевого меридиана искажения растут.

Таким образом, если трасса проходит под большим углом к осевому меридиану и пересекает несколько зон, в ходе работ накапливаются поправки за переход от эллипсоида к плоскости. И для решения данной проблемы требуется введение масштабных коэффициентов, которые в любом случае снизят точность.

В. А. Коугия предлагает такую проекцию, в которой за ось симметрии берется ось трассы, а не осевой меридиан. Такая система позволяет свести искажения к нулю, либо же они являются постоянными и легко учитываемыми.

Проектные решения, техническая документация, расчетные модели, чертежи и иные документы должны разрабатываться с обязательной привязкой к ВКС.

Строительство линейных объектов зачастую проходит на геологически сложных участках местности, например, территории с развитием оползневых и эрозионных процессов, с повышенной сейсмической активностью, а также территории с риском возникновения обвалов, подтоплений, снежных лавин и других экзогенных явлений. На таких территориях обязательно проведение комплекса мероприятий по непрерывному геодезическому мониторингу, который реализуется с помощью автоматизированных комплексов, привязанных к пунктам ВКС [3, 4]. Такой подход позволяет выявить деформации на ранних стадиях и прогнозировать изменения в конструкциях.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы: ВКС является незаменимым инструментом при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов железнодорожной структуры, особенно когда речь идет о высокоскоростных магистралях. Такой подход позволяет оперативно выявлять несоответствия между проектным и фактическим расположением элементов инфраструктуры. В процессе мониторинга использование ВКС позволяет заранее выявлять осадки и деформации и планировать комплексные мероприятия по устранению возможных дефектов.

Библиографический список

1. Канашин, Н. В. О критериях качества создания высотной сети для строительства высокоскоростной железнодорожной трассы / Н. В. Канашин // Инновационные технологии в строительстве и управ-

ление техническим состоянием инфраструктуры : сборник научных трудов VII Всероссийской национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 27–28 февраля 2025 г. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 71–74. – EDN VGGWGC. – Текст : непосредственный.

2. Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта / В. И. Куштин, А. А. Ревякин, Г. В. Колошина, А. М. Петренко // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 9. – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6211. – Текст : электронный.

3. Куштин, В. И. Геоинформационные технологии для проектирования, строительства, мониторинга объектов инфраструктуры и путевого хозяйства ОАО РЖД / В. И. Куштин, А. А. Ревякин, П. Н. Щербак // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 11. – URL : https://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8801. – Текст : электронный.

4. Куштин, В. И. Анализ современных методов получения геопространственной информации при мониторинге объектов железнодорожной инфраструктуры / В. И. Куштин, С. Е. Турчик, О. С. Глинская // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 11. – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8004. – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Ростовцева Диана Андреевна, магистрант Строительного факультета, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия, babenko.diana.a@yandex.ru ;

Турчик Светлана Евгеньевна, ассистент кафедры «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог», ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия, wjsvetka@gmail.ru ;

Андреева Елена Александровна, ассистент кафедры «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог», ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Россия, andreevaea@rgups.ru.

Степанов В. В., Пляскин Д. Р.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПРИЗНАК СХОДА КОЛЁСНОЙ ПАРЫ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА С РЕЛЬСОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАДЕЖНЫХ УСТРОЙСТВ ЭКСТРЕННОГО ВКЛЮЧЕНИЯ АВТОТОРМОЗОВ

В работе рассматриваются вопросы повышения безопасности движения на железнодорожном транспорте. В настоящее время обеспечение своевременности включения тормозов грузового вагона при сходе колесной пары с рельсов при сохранении цельности тормозной магистрали поезда полностью возлагается на машиниста, который по объективным причинам не в состоянии немедленно включить экстренное торможение. В результате сошедший вагон длительное время продолжает движение в поезде, разрушая пути, стрелочные переводы, что может привести к крушениям. В статье рассмотрены методы решения данной проблемы с помощью автоматических устройств, применяемых на зарубежных железных дорогах (Англия, КНР). Дан анализ недостатков принципиальных конструктивных решений рассмотренных автоматических клапанов аварийного торможения. Предложен альтернативный вариант принципиально нового критериального признака срабатывания на торможение аварийного клапана при сходе колесной пары с рельсов, разработанного в ЗабИЖТ, позволяющего исключить отказы и случаи ложного срабатывания

Ключевые слова: безопасность движения, сход с рельсов, вагон, торможение, колесная пара, надрессорная балка.

Обеспечение безопасности движения грузовых поездов во многом зависит от быстродействия автотормозов. Проблема своевременности включения автотормозов грузового вагона при сходе колесной пары заключается в том, что сам по себе сход колес с рельсов на шпалы не вызывает мгновенной разрядки тормозной магистрали, если при этом не произошло физического обрыва тормозных рукавов или разрушения пневмосистемы. При падении давления в тормозной магистрали машинист не видит, что происходит в хвосте (особенно ночью, в тумане или на кривых участках пути). Ему требуется от 3 до 5 секунд только на то, чтобы осознать, что скачок давления в тормозной магистрали – это критический сбой, требующий немедленного перевода ручки крана машиниста в положение экстренного торможения. В результате сошедший вагон может длительное время продолжать движение в поезде, разрушая

пути и стрелочные переводы, что в итоге приводит к масштабным крушениям. В качестве примера можно привести случай схода грузового вагона 21 мая 2023 г. на перегоне Приисковая – Куэнга Забайкальской железной дороги. В сошедшем состоянии вагон № 29235140 проследовал более шести километров до момента столкновения тележки, вышедшей за габарит, с пассажирской платформой. В результате одиннадцать вагонов сошли с рельсов, а четыре были повреждены до степени исключения из инвентарного парка [4].

Проблеме обеспечения своевременности включения автотормозов посвящено большое количество работ. Например, фирма Knorr-Bremse разработала детектор схода вагона с рельсов EDT101, который может инициировать экстренное торможение, и в настоящее время в Великобритании проводится его внедрение в парке вагонов Drax Power. Детектор EDT101 представляет собой пассивный пневмомеханический агрегат, не требующий внешнего источника питания. Конструкция представляет собой компактный механический блок, монтируемый непосредственно на раму или тележку вагона. Основные элементы – встроенный подпружиненный клапан (колебательная система «пружина-масса»), механический индикатор срабатывания (выдвижной красный штифт) и штуцер для подключения к тормозному трубопроводу поезда. Принцип действия: детектор монтируется на тележке или надрессорной балке в вертикальном положении. При движении колёсной пары в рельсовой колее пружина удерживает инерционную массу в стабильном положении, которая перекрывает выпускные окна. В момент схода колесной пары с рельсов возникают резкие удары, вертикальное ускорение резко возрастает. Под действием инерции масса преодолевает сопротивление пружины и открывает выпускные окна пневматического клапана. Воздух из тормозной магистрали сбрасывается наружу, падение давления запускает экстренное автоматическое торможение состава. После падения давления клапан автоматически возвращается на место, при этом наружу выходит красный сигнальный штифт.

В рассматриваемом устройстве в качестве критериального признака схода колесной пары с рельсов используется величина вертикальных ускорений колебания колёсной пары при перекатывании по шпалам во время движения. Несмотря на простоту конструкции, отсутствие потребности в энергоснабжении, реагирование на критическое ускорение, детекторы EDT101 имеют ряд недостатков, ограничивающих пределы их использования. Во-первых, колебательная система пружина-масса обладает определенной частотой собственных колебаний, потому она теряет работоспособность при высоких скоростях движения, когда ча-

стота колебаний вертикальных усилий во время перекатывания колеса по шпалам превышает частоту собственных колебаний. Также детектор EDT101 не срабатывает при низких скоростях движения поезда в случае недостаточной величины вертикальных ускорений. Во-вторых, сопротивление колебательной системы детектора величина переменная, зависящая о величины зазора между колебательной массой и корпусом детектора (загрязнения, конденсат, механические повреждения корпуса), причём не исключено заклинивание и полная потеря работоспособности. Таким образом, используемый критерий – величина вертикальных ускорений сосредоточенной массы детектора EDT101, не обеспечивает надёжности срабатывания при сходе колёсной пары с рельсов.

Известна также разработка КНР – механический срывной клапан автотормозов, работающий в связке с воздухораспределителями типа 120 (базовый стандарт грузовых железных дорог Китая). Принцип действия устройства заключается в воздействии срывного кольца на разрушаемый элемент в момент схода колесной пары, в следствие чего нарушается герметичность тормозной магистрали, резкое падение давления активирует воздухораспределители поезда, запуская экстренное торможение. Общий вид срывного клапана представлен на рис. 1, устройство срывного клапана представлено на рис. 2.



Рис. 1. Срывной клапан (КНР)

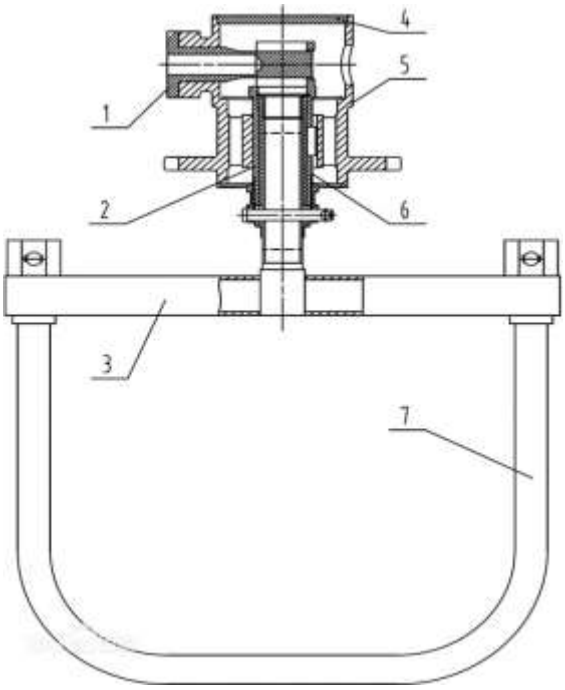


Рис. 2. Схема срывного клапана

Устройство автоматического клапана аварийного торможения (рис. 2) грузового вагона при сходе с рельсов (КНР): 1 – штуцер, 2 – тормозной срывной шток с кольцевой выточкой, 3 – поперечная балка-траверса, 4 – корпус клапана, 5 – направляющая втулка (срывной стакан), 6 – уплотнительные кольца и манжеты, 7 – срывное кольцо-петля (охватывает ось колёсной пары).

В штатном режиме сжатый воздух под рабочим давлением в 0,5–0,6 МПа поступает через штуцер 1 внутрь корпуса 4 и заполняет герметичную полость. Металлическая скоба 7 находится на расстоянии 40–50 мм от поверхности оси колесной пары (рис. 1), не касаясь ее при нормальных колебаниях вагона. Пружины и давление воздуха удерживают систему в закрытом положении. В момент схода колесной пары с рельсов тележка смещается, ось колеса преодолевает зазор и с силой бьет по внутренней стенке стальной петли 7, механический удар через траверсу 3 передается на центральный шток 2. За счет создавшегося рычага шток ломается по линии контрольной круговой выточки, вследствие чего открывается канал сброса воздуха из тормозной магистрали наружу.

В этом устройстве в качестве критериального признака применяется величина просадки колеса относительно головки рельса. К недостаткам рассматриваемой конструкции срывного клапана относятся следующие.

1. Уязвимость к ложным срабатываниям: механический щуп (узел излома) расположен близко к элементам колесной пары. Попадание крупного щебня с пути, кусков льда, смерзшегося угля или посторонних предметов может сломать шток, вызвав незапланированное экстренное торможение поезда на перегоне.

2. Высокие требования к точности регулировки зазора между срывным кольцом и поверхностью оси (40–50 мм). Износ пружин рессорного подвешивания, просадка кузова или износ колес меняют этот зазор. Если он станет слишком мал – клапан сработает на первой крупной выщербине; если слишком велик – не сработает при реальном сходе.

3. Одноразовость чувствительного элемента. После каждого срабатывания (даже ложного) хрупкое металлическое кольцо или шток полностью разрушаются. Для восстановления системы требуется замена детали из ремонтного комплекта в деповских условиях.

Рассмотренные конструкции устройств аварийного включения на торможение автотормозов грузового вагона в качестве критериального признака схода колёсной пары с рельсов используют величину вертикальных ускорений колебательного движения колесной пары при перекатывании по шпалам и факт просадки колеса – занижение положения оси относительно головки рельса, что снижает надежность срабатывания

и требует постоянного контроля и обслуживания. Аналогичные известные устройства, разработанные на основе указанных критериев, обладают теми же недостатками.

В Забайкальском институте железнодорожного транспорта предложен и обоснован альтернативный критериальный признак схода колесной пары с рельсов – рассогласование геометрического положения оси рамы вагона и оси тележки при сходе колесной пары с рельсов. Проведены геометрические расчёты критических значений углов рассогласования (рис. 3). В качестве элемента тележки, определяющего положение оси тележки относительно оси рамы вагона выбрана надрессорная балка, поскольку она шарнирно связана с рамой шкворнем, и ее геометрическое положение относительно рамы однозначно определено. Проведены геометрические расчёты критических значений углов рассогласования. Как показали расчеты, значение этого угла находится в пределах 4,02° (0,07 рад) и в зоне скользуна, расположенного на надрессорной балке, приводит к смещению по касательной в линейном выражении 53,34 мм.

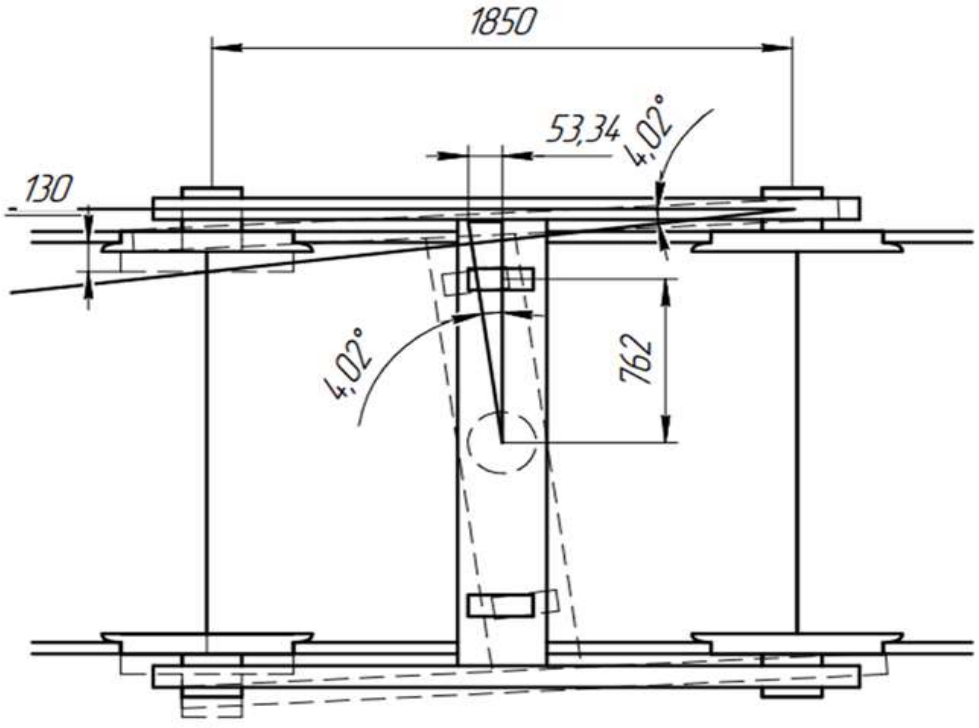


Рис. 3. Геометрические расчеты критериального признака схода колесной пары тележки 18–100

Угол рассогласования осей рамы вагона и надрессорной балки также возникает при прохождении кривых железнодорожного пути, что может вызвать ложное срабатывание автотормозов. Расчет угла поворо-

та проводился в соответствии с предельным минимально допустимым значением радиуса кривых железнодорожного пути по своду правил СП 119.13330.2017 «Железные дороги колеи 1520 мм» [5], согласно которым наименьший радиус кривой, допускаемый на главных путях, равен 200 м, а в обоснованных случаях допускается уменьшение радиуса до 180 м. Расчеты величины угла рассогласования осей рамы вагона и надрессорной балки при прохождении кривых малого радиуса 180 м показали, что он не превышает 2,33° (0,040 рад), или в линейном выражении в зоне скользуна – не более 30,9 мм. Таким образом, значение рабочей зоны исполнительного механизма составляет 22,4 мм, что позволяет, с одной стороны, гарантированно включать в автоматическом режиме систему автотормозов грузового вагона, а с другой – проходить кривые малого радиуса без срабатывания автотормозов [4].

Основное достоинство предложенного критерия – превышение угла рассогласования оси рамы грузового вагона и оси тележки однозначно фиксирует момент схода колесной пары с рельсов. При этом исключены ложные срабатывания во всем диапазоне скоростей движения вагона, а также обеспечивается полная независимость срабатывания от величины просадки рессорного подвешивания, износа колес, а также частоты колебаний возмущающих усилий при перекатывании колеса по шпальной решетке.

На основе теоретических исследований спроектирован клапан включения автотормозов на торможение, создана 3D-модель (рис. 4, а), на которой отрабатывались режимы срабатывания устройства при прохождении кривых, а также режимы включения клапана при сходе колесной пары с рельсов, возврата подвижных элементов в исходное положение, стопорения при срабатывании на включение тормозов.

В механических мастерских вагоноремонтного депо Чита изготовлен и испытан с использованием заводской пневмосети опытный образец устройства (рис. 4, б). В процессе испытаний устройство присоединялось к тормозной магистрали грузовой платформы. Тормозная магистраль заполнялась воздухом от заводской пневмосети в штатном режиме при давлении 0,6 МПа. Представленный к испытаниям опытный образец пневматического устройства для автоматического срабатывания на торможение тормозов грузового вагона при сходе колесной пары с рельсов подтвердил верность концептуальных решений, изложенных в патенте [2]. Испытания подтвердили правильность принятых концептуальных решений об использовании в проектировании устройств автоматического включения автотормозов на торможение грузовых вагонов геометрического критериального признака схода колёсной пары с рель-

сов – критического угла рассогласования положения оси тележки относительно рамы грузового вагона.

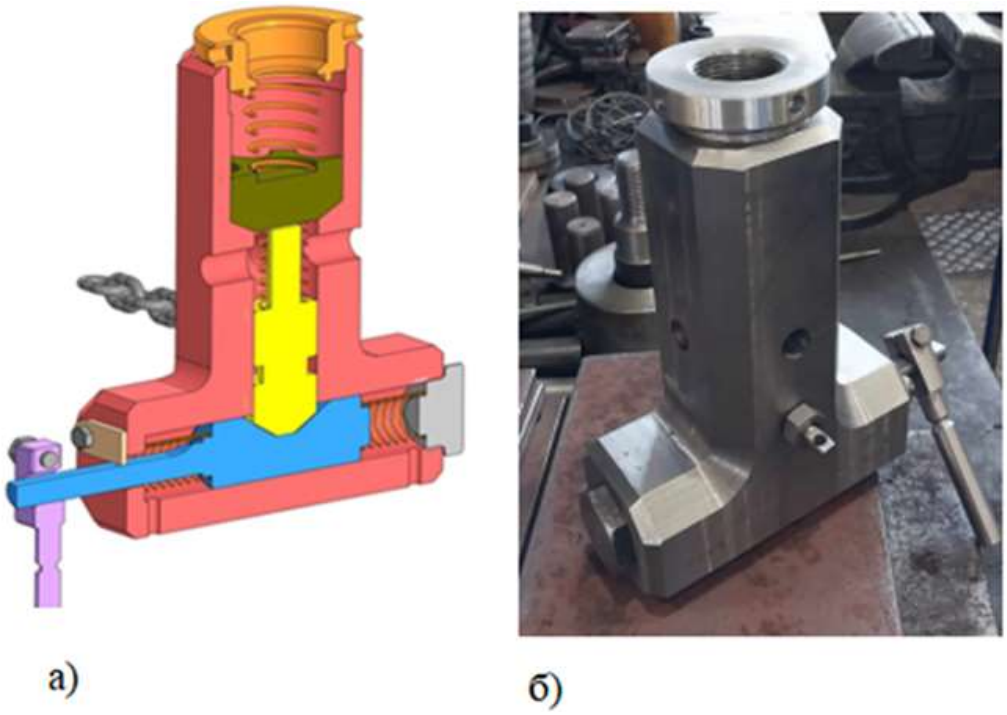


Рис. 4. 3D-модель (а) и опытный образец (б)
прототипа устройства включения автотормозов грузового вагона

В отличие от ранее рассмотренных критериальных признаков схода колёсной пары с рельсов, предложенный признак схода – критическое значение угла рассогласования оси тележки относительно оси рамы вагона, не подвержен влиянию вибраций, загрязнений и не требует постоянного контроля геометрических параметров самого устройства включения автотормозов на торможение, а также прост в производстве и не вызывает ложных срабатываний при эксплуатации. Приведение устройства в исходное состояние после срабатывания при сходе осуществляется путем снятия со стопора. На основе предложенного критерия в ЗабИЖТ разработан ряд принципиальных отличающихся вариантов конструкций автоматических устройств включения автотормозов, получено два патента на полезную модель.

Библиографический список

1. Патент на полезную модель № 215094. Механическое устройство для автоматического торможения грузового поезда при сходе вагона с рельсов: № 2022109674: заявл. 11.04.2022 опубл. 29.11.2022 /

Д. А. Чернигов, Е. А. Рожкова, В. В. Степанов, В. В. Волков ; заявитель, патентообладатель ИрГУПС. – 3 с. – Текст : непосредственный.

2. Патент на полезную модель № 221513. Пневматическое устройство для автоматического торможения грузового поезда при сходе колесной пары с рельсов: № 2023116740: заявл. 23.06.2023 опубл. 10.11.2023 / В. В. Степанов, С. Е. Козлов ; заявитель, патентообладатель ИрГУПС. – 4 с. – Текст : непосредственный.

3. Степанов, В. В. Пневматическое устройство для автоматического торможения грузового поезда при сходе колесной пары с рельсов / В. В. Степанов, С. А. Иванов, Д. Г. Налабордин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2024. – № 1. – С. 25–27. – Текст : непосредственный.

4. Степанов, В. В. Пневматическое устройство автоматического срабатывания на торможение тормозов грузового вагона / В. В. Степанов, С. З. Овсейчик // Транспорт Урала : научно-технический журнал. – 2025. – № 2. – С. 37–41. – Текст : непосредственный.

5. СП 119.13330.2017. Железные дороги колеи 1520 мм. – Москва, 2017. – 41 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Степанов Валерий Викторович, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав и обеспечение движения», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения». Забайкальский край, г. Чита, Россия, stepv_angoo@mail.ru ;

Пляскин Даниил Романович, студент гр. ПСЖ.6-23-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения». Забайкальский край, г. Чита, Россия, телефон: +79144474783

Сударев И. В., Пультяков А. В.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОБАЛЛОНОВ FESTO, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОНСТРУКЦИИ ВАГОННЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ

Статья посвящена анализу параметров пневмобаллонов FESTO серии EB, применяемых в конструкции вагонных клещевидных замедлителей типа КЗПУ на сортировочных горках. Рассмотрены конструктивные особенности баллонных цилиндров, а также принцип преобразова-

ния энергии сжатого воздуха в тормозное усилие. Выполнен сравнительный расчёт эффективной площади и развиваемого усилия для двух типоразмеров – ЕВ 385-230 и ЕВ 325-215 – на четырех ступенях рабочего давления. Показано, что баллон ЕВ 385-230 обеспечивает усилие примерно на 40 % выше, что обусловлено большей эффективной площадью сильфона. Обоснована целесообразность применения данного типоразмера в условиях интенсивной эксплуатации горочных замедлителей.

Ключевые слова: пневмабаллон, вагонный замедлитель, сортировочная горка, приводная секция, торможение, сильфон, пневмосистема.

Современные сортировочные горки являются сложными техническими комплексами, обеспечивающими переработку значительных объемов вагонопотока [1]. Одним из основных элементов горочной автоматики выступают вагонные замедлители, предназначенные для регулирования скорости движения вагонных отцепов при роспуске составов. Эффективность работы сортировочной станции во многом определяется надежностью и быстродействием тормозных устройств, а также стабильностью создаваемых ими тормозных усилий.

Широкое распространение на железных дорогах получили вагонные клещевидные замедлители унифицированные с пневматическим уравновешиванием тормозной системы типа КЗПУ (рис. 1) [2]. Конструкция данных устройств обеспечивает создание значительных тормозных усилий при сравнительно простом устройстве и высокой надежности эксплуатации. Основным исполнительным элементом привода тормозной системы являются баллонные цилиндры (пневмокамеры), преобразующие энергию сжатого воздуха в механическое перемещение рычажного механизма.

В составе замедлителей КЗПУ применяются баллонные цилиндры FESTO типа ЕВ 385-230, отличающиеся высокой грузоподъемностью, устойчивостью к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды и длительным сроком службы. Использование пневмобаллонов позволяет обеспечить плавную работу тормозной системы, снизить динамические нагрузки на элементы конструкции и повысить эксплуатационную надежность замедлителя.

Замедлитель КЗПУ предназначен для регулирования скорости вагонных отцепов на спускной части сортировочных горок и на парковых тормозных позициях. Торможение осуществляется за счет воздействия тормозных шин на боковые поверхности колесных пар вагонов. Усилие прижатия тормозных шин формируется рычажной системой, приводимой в действие пневматическими баллонами [3, 4].



Рис. 1. Вагонный замедлитель КЗПУ

Каждая приводная секция замедлителя включает рычажный механизм, баллонный цилиндр и механизм уравновешивания. При подаче сжатого воздуха в пневмобаллон происходит увеличение его высоты и развитие значительного осевого усилия. Возникающее усилие передается на рычаги привода, которые перемещают тормозные балки и обеспечивают переход замедлителя в положение «Заторможено». После выпуска воздуха из пневмосистемы под действием собственного веса элементов тормозной системы происходит возврат рычагов и тормозных балок в положение «Отторможено», пневмобаллон возвращается в положение, представленное на рис. 2.

Пневмосистема КЗПУ включает сеть трубопроводов, воздухосборники, управляющую аппаратуру и баллонные цилиндры. Номинальное давление воздуха в системе составляет 0,65 МПа, а максимально допустимое – 0,8 МПа.

Баллонные цилиндры серии ЕВ относятся к специальным пневматическим исполнительным устройствам сильфонного типа. Их конструкция включает резиновый многослойный сильфон и металлические опорные фланцы [5]. Отсутствие трущихся направляющих элементов позволяет практически полностью исключить эффект рывкового движения, характерный для традиционных пневмоцилиндров.



Рис. 2. Сжатый пневмобаллон в положении «Отторможено»

К числу основных преимуществ баллонных цилиндров относятся:

– высокая развиваемая сила при сравнительно небольших габаритах;

– плавность перемещения;

– устойчивость к загрязнению и воздействию пыли;

– возможность эксплуатации в условиях повышенной влажности и под водой;

– отсутствие необходимости в техническом обслуживании;

– низкий уровень внутренних потерь на трение;

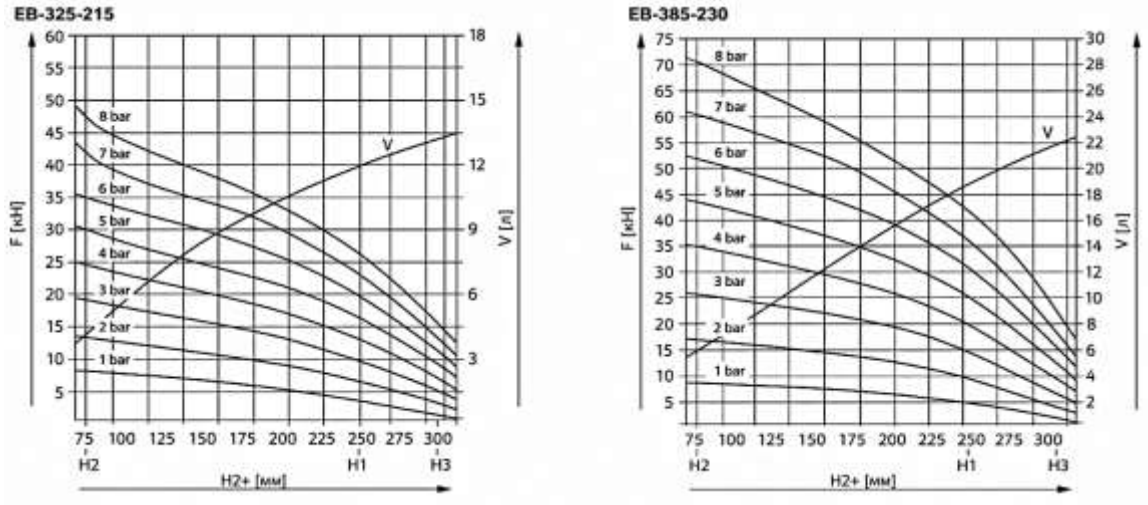
– высокая стойкость к ударным нагрузкам и вибрациям.

Баллонный цилиндр FESTO EB 385-230, применяемый в замедлителях КЗПУ, имеет диаметр 385 мм и максимальный ход 230 мм, согласно паспорту. Рабочее давление составляет от 0 до 8 бар. Конструкция обеспечивает возможность работы при температурах окружающей среды от минус 40 до плюс 70 °С, что соответствует требованиям эксплуатации железнодорожного оборудования в различных климатических условиях.

Каталог пневмобаллонов FESTO включает в себя различные виды подушек – односильфонные, двухсильфонные, с разными диаметрами, разной рабочей высотой, и различными типами, например, EB и EBS.

Для анализа были выбраны две соседние в паспорте подушек типа EB, двухсильфонные (рис. 4) FESTO EB 385-230, как пневмобал-

лон, использующийся в конструкции замедлителя КЗПУ, и FESTO EB 325-215 с меньшим диаметром сильфона и меньшим рабочим ходом для сравнения характеристик двух пневмобаллонов и усилий, которые они развивают, исходя из эффективной площади и давления поступающего внутрь сильфона.



F – усилие [кН] H2+ – требуемое концевое положение (стандарт + ход)
V – расход [л] H3 – предельно концевое положение (макс.)
H1 – предельное концевое положение (стандарт)

Рис. 3. Паспортные характеристики баллонных цилиндров FESTO серии EB (по данным каталога FESTO)



Рис. 4. Внешний вид двухсильфонных пневмобаллонов FESTO типа EB

Из представленных паспортных характеристик на рис. 3, видно, что с увеличением рабочего давления развиваемое пневмобаллоном усилие возрастает практически пропорционально, что обеспечивает необходимое прижатие тормозных шин к колесам вагонов. Одновременно графики содержат зависимость изменения внутреннего объема баллона, которая используется при расчете расхода сжатого воздуха и динамики заполнения пневмосистемы [6].

Эффективная площадь сильфона ($S_{эфф}$) – это расчетная величина, связывающая внутреннее давление сжатого воздуха в пневмобаллоне с развиваемым им осевым усилием по зависимости $F = P \cdot S_{эфф}$. В отличие от геометрической площади поперечного сечения резинокордной оболочки, эффективная площадь не является постоянной геометрической характеристикой сильфона: она формируется совокупным действием давления воздуха на профиль оболочки с учетом диаметра сильфона.

Для обоих сравниваемых баллонов значения Sэф получены путем расчета исходя из диаметра, согласно формуле эффективной площади сильфона:

$$S_{эфф} = \pi * \frac{D^2}{4},$$

где D – номинальный диаметр сильфона, Sэфф – расчетная эффективная площадь.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эффективная площадь сильфонов, сравниваемых пневмобаллонов FESTO

Тип баллона	Диаметр, мм	Макс. ход, мм	Sэф, м²	Sэф, см²
FESTO EB 385-230	385	230	0,1164	1164
FESTO EB 325-215	325	215	0,0830	830

Таблица 2

Усилия, развиваемые баллонами на ступенях давления по РЭ ВУПЗ-12Э

Ступень	Давление, кПа	F, EB 385-230, кН	F, EB 325-215, кН	Превышение, %
1	120	13,97	9,95	+40,4
2	275	32,01	22,81	+40,3
3	460	53,55	38,16	+40,3
4	650	75,67	53,92	+40,3

Полученные значения эффективной площади были использованы для расчета усилий, развиваемых каждым баллоном на четырех основных ступенях давления управления тормозной системой замедлителя КЗПУ, установленных согласно руководству по эксплуатации ВУПЗ-12Э (табл. 2).

Анализ полученных данных показывает, что на всех четырех ступенях давления баллон EB 385-230 развивает усилие приблизительно на 40 % больше, чем EB 325-215, причем это превышение остается практически постоянным (от 40,3 до 40,4 %) независимо от уровня давления, что является прямым следствием пропорциональности усилия давлению при фиксированной эффективной площади. Примечательно, что отношение эффективных площадей баллонов (0,1164/0,0830 ≈ 1,403) практически совпадает с отношением квадратов их номинальных диаметров $(385/325)^2 \approx 1{,}402$, что подтверждает корректность выполненных расчетов и физическую закономерность, в которой эффективная площадь сильфона при сохранении подобия геометрии профиля пропорциональна квадрату его диаметра.

Сравнение характеристик показывает, что баллонный цилиндр FESTO EB 385-230 является более предпочтительным вариантом для применения в замедлителях КЗПУ на спускной части сортировочной горки и на тормозных позициях с высокой интенсивностью переработки вагонов. Это обусловлено следующими факторами:

– на номинальном рабочем давлении пневмосистемы (0,65 МПа, ступень 4) баллон EB 385-230 развивает усилие 75,67 кН против 53,92 кН у EB 325-215, что обеспечивает необходимый запас тормозного усилия для остановки и регулирования скорости тяжелых груженых вагонов, в т. ч. при частичном снижении давления в воздухосборниках;

– больший диаметр баллона (385 мм) обеспечивает более равномерное распределение нагрузки на сильфон и опорные фланцы, снижая удельные деформации резинокордной оболочки и повышая ресурс баллона при многоцикловой работе, характерной для горочных замедлителей;

– наличие запаса по развиваемому усилию позволяет эксплуатировать замедлитель с более высокой надежностью даже при отклонениях давления в пределах рабочего диапазона 0–8 бар, в т. ч. в холодное время года и при колебаниях производительности компрессорной станции.

Баллонный цилиндр FESTO EB 325-215 при этом не следует считать менее качественным решением, т. к. его меньшие массогабаритные характеристики и более низкое развиваемое усилие делают его рациональным для применения в условиях, где требования к тормозному усилию ниже, а определяющим фактором становится компактность узла,

и использовать такие баллоны можно в качестве баллонов для вспомогательных и испытательных стендов, а также при модернизации замедлителей более ранних модификаций, где замена на типоразмер с меньшим диаметром не требует изменения посадочных размеров корпуса.

Заключение

Баллонные цилиндры FESTO серии EB являются важнейшим элементом вагонных замедлителей типа КЗПУ. Их применение позволяет обеспечить преобразование энергии сжатого воздуха в значительное механическое усилие, необходимое для работы тормозной системы сортировочных горок. Конструктивная простота, высокая надежность, устойчивость к неблагоприятным условиям эксплуатации и способность развивать большие усилия делают пневмобаллоны оптимальным решением для железнодорожных тормозных устройств.

Практика эксплуатации замедлителей КЗПУ подтверждает эффективность использования баллонных цилиндров в качестве исполнительных механизмов. Совокупность их технических характеристик обеспечивает стабильную работу тормозной системы, снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности сортировочного процесса.

Библиографический список

1. Шабельников, А. Н. Совершенствование системы прицельного торможения отцепов на сортировочных горках / А. Н. Шабельников, В. Р. Одикадзе // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008. – № 2(144). – С. 21–23. – Текст : непосредственный.

2. Кобзев, В. А. Инновационные решения в конструкции устройств тормозной горочной техники / В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С. 36–38. – EDN WOMAAH. – Текст : непосредственный.

3. Тиссен, В. А. Унифицированный вагонный замедлитель / В. А. Тиссен // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 12. – С. 34–35. – EDN XBJGKP. – Текст : непосредственный.

4. Коротовских, А. А. Новые подходы к разработке технических средств для нужд ОАО «РЖД» / А. А. Коротовских, С. Е. Панишев // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 6. – С. 18-19. – EDN EQUKPN. – Текст : непосредственный.

5. Морозов, В. А. Российские пневмокамеры для вагонных замедлителей / В. А. Морозов, В. А. Кобзев // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 5. – С. 10-11. – EDN PEONAI. – Текст : непосредственный.

6. Пультяков, А. В. К вопросу оценки эффективности работы горочных замедлителей при роспуске составов / А. В. Пультяков, П. Ю. Иванов, И. В. Сударев // Вестник транспорта Поволжья. – 2026. – Т. 2. – № 3(118). – С. 91–96. – EDN DCOPYH. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Сударев Игорь Владимирович, аспирант, ассистент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, sudarev.iv@irgups.ru ;

Пультяков Андрей Владимирович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, pultyakov@irgups.ru.

Шевандо М. Ф.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ: АНАЛИЗ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В статье проанализированы щебнеочистительные машины для железнодорожного пути. Рассмотрены классификация оборудования, принципы работы и основные проблемы загрязнения щебня. Выполнен сравнительный анализ комплексов ЩОМ-1400 и ЩОМ-3000, выявлены их конструктивные особенности и технические решения, повышающие производительность. Показано, что внедрение высокопроизводительных модульных машин позволяет сократить продолжительность ремонтных «окон» на 30–40 %, снизить эксплуатационные затраты и обеспечить окупаемость за 3–4 года. Определены перспективные направления модернизации.

Ключевые слова: балластная призма, щебнеочистительная машина, ЩОМ-1400, ЩОМ-3000, производительность очистки, загрязнение щебня, капитальный ремонт железнодорожного пути, модернизация путевой техники, вибрационный грохот, модульная конструкция.

Балластная призма относится к верхнему строению железнодорожного пути и считается одной из наиболее уязвимых его частей. Её главное назначение – удерживать рельсошпальную решётку в стабильном положении при динамических нагрузках от подвижного состава и тем-

пературных деформациях. Со временем в щебёночном слое накапливаются посторонние включения: просыпающиеся при перевозке грузы, мелкая пыль, заносимая ветром и осадками, а также продукты истирания самого щебня под колёсами поездов и при механизированной подбивке шпал. Из-за этого балласт теряет способность отводить воду, становится жёстче и хуже гасит удары, что негативно сказывается на положении рельсового пути. В итоге требуются капитальные ремонты [2, с. 18].

Степень загрязнения щебёночного балласта выявляют во время плановых осмотров пути. Если доля посторонних частиц превышает 35 %, то для очистки используют специальные щебнеочистительные машины. Применение таких комплексов заметно повышает качество работ и увеличивает межремонтные сроки службы пути [1, с. 430]. Однако многие существующие модели обладают сравнительно невысокой производительностью (400–700 м³/ч), что ограничивает общую выработку всей технологической цепочки.

Целью моей работы является анализ существующих и перспективных моделей щебнеочистительных машин, выявление основных направлений модернизации данного класса машин и определение перспективных направлений их совершенствования, а также оценка влияния новых технических решений на производительность и сроки ремонта пути.

Существующие щебнеочистительные устройства делят по трём основным признакам. По принципу извлечения загрязнений выделяют вибрационные грохоты (сетчатые), роторно-шнековые аппараты, а также цепные механизмы с ковшами или скребками. По способу передвижения бывают прицепные – им нужен локомотив, и самоходные – с собственным двигателем. По объёму переработки в час различают маломощные (до 300 м³/ч), средние (400–800 м³/ч) и высокопроизводительные (свыше 1000 м³/ч) машины [1].

В России широко применяются машины типов ЩОМ (щебнеочистительная отечественная модернизированная), СЧ (сетчатая очистка), РМ (роторная машина). При капитальном ремонте пути наиболее востребованными являются комплексы ЩОМ-1400 и ЩОМ-3000.

Калужский завод «Ремпутьмаш» выпускает ЩОМ-1400 – это высокопроизводительный инновационный комплекс для глубокой очистки щебёночного балласта, который широко применяется при капитальном ремонте железнодорожного пути на сети ОАО «РЖД».

Конструкция комплекса позволяет выполнять глубокую очистку щебня на перегонах, станциях и стрелочных переводах с одновременной укладкой геотекстиля, что предотвращает последующее проникновение грунта снизу.

В состав ЩОМ-1400 входят добывающе-распределительный и очистной модули, а также тягово-энергетическая секция ТЭС-1400.

Снабжение электроэнергией и перемещение комплекса выполняет тягово-энергетическая секция.

Вырезает загрязнённый балласт из-под рельсошпальной решётки и укладывает очищенный балласт под решётку добывающе-распределительный модуль. В его состав входят кабина управления, система конвейеров, рабочий орган, подъёмно-рихтовочное устройство и пробивщик шпальных ящиков.

Технологический цикл начинается с того, что модуль вырезает небольшую стартовую траншею («зарядную яму»). Затем в неё опускается баровая цепь, которая, двигаясь под рельсошпальной решёткой, срезает загрязнённый щебень и направляет его на транспортёрную ленту. В качестве рабочего органа используется скребковая цепь, перемещающаяся по специальным направляющим жёлобам. Для удаления щебня, заклинившего между шпалами, предусмотрен пробивщик шпальных ящиков – механизм, который выбивает крупные застрявшие фракции.

Очистка щебня выполняется двумя высокопроизводительными вибрационными грохотами.

Основной очистной узел ЩОМ-1400 – вибрационный грохот. Он представляет собой герметичный короб, подвешенный на пружинах, внутри которого установлены неуравновешенный вибратор (дебаланс) и три слоя сит с разными размерами ячеек. Верхнее сито имеет крупные отверстия, нижнее – самые мелкие, соответствующие величине типичных загрязнителей. Поступающий из конвейера щебень проходит через все три уровня: крупные фракции остаются вверху, мелкий очищенный материал проваливается вниз, а засорители отделяются и выводятся наружу.

Засорители выгружаются в хоппер-дозаторы или отсыпаются в отвал вдоль пути.

Очищенный щебень возвращается в добывающе-распределительный модуль, откуда подаётся на распределительное устройство, которое равномерно засыпает его под рельсошпальную решётку и между шпалами. Щебень мелкой фракции укладывается непосредственно на геотекстиль, а крупной фракции – сверху. Такое решение послойного возвращения щебня под шпалы снижает динамическое воздействие и улучшает дренаж.

Щебнеочистительный комплекс непрерывно в движении выполняет замкнутый процесс очистки.

После обновления путь становится устойчивее, вследствие чего грузовые и пассажирские поезда могут развивать более высокую скорость [4].

Из технического анализа щебнеочистительного комплекса видно, что новизной данного комплекса является:

– увеличение производительности – 1400 кубометров щебня, благодаря рациональной компоновке и форме конвейеров с лентой шириной до 1400 мм, а также за счёт применения мотор-барабанов из керамических материалов, препятствующих проскальзыванию ленты;

– увеличение скорости проведения операций;

– высокая надёжность узлов и агрегатов;

– работа в автоматическом режиме благодаря датчикам, контролирующим заглубление желобов;

– наличие магнитных уловителей металлических засорителей в выгребном устройстве, что позволяет предотвращать попадание на ленту металлического мусора [5].

Однако, несмотря на высокотехнологичность данного комплекса, ОАО «РДЖ» поставило задачу по разработке новых технологий ремонта пути для развития высокоскоростного и тяжеловесного движения. Группой ПТК была разработана машина ЩОМ-3000. Она имеет отличия от предыдущих щебнеочистительных машин компоновочными решениями.

Главное отличие ЩОМ-3000 от предшественников – модульная компоновка и повышенные рабочие скорости. Машина состоит из двух независимых секций, каждая со своим двигателем. В ней используется сварной грохот с более сильными колебаниями и изменённой геометрией сит, что повышает эффективность разделения фракций. Объём захвата балласта увеличен за счёт другого редуктора привода, а доработанный выгребной механизм получил дополнительные боковые щитки (подкрылки) [3, 5].

Скорость ЩОМ-3000 в самоходном режиме при работе составляет 0,06–0,75 км/ч, глубина вырезки щебня под подошвой шпал – 0,2–1,0 м; комплекс удаляет старые геоматериалы при одновременной очистке балласта и может вырезать балласт любой плотности [5].

ЩОМ-3000 состоит из двух отдельных секций (А и Б), соединённых гибким переходом. Каждая секция оснащена собственным дизельным двигателем и гидравлическими системами. Это позволяет эксплуатировать машину в трёх конфигурациях:

– полный комплекс (обе секции) – для закрытых перегонов с фронтом работ от 2 км;

– первая секция – для локальной вырезки щебня на коротких участках;

– вторая секция – для очистки с укладкой обратно;

ЩОМ-3000 перемещается самоходом со скоростью до 12 км/ч в транспортном режиме. Отпадает необходимость в маневровом локомотиве, что снижает эксплуатационные расходы примерно на 20–25 % по оценке разработчика.

ЩОМ-3000 может работать в следующих технологических цепочках:

– скоростная очистка загрязненного балласта без поднятия рельсошпальной решетки;

– полная вырезка щебня с погрузкой в составы;

– вырезка с сепарацией (отделение мелкого щебня от крупного и засорителя);

– создание новых подбалластных слоев с укладкой щебня из резервного бункера [3].

Таблица

Сравнение технических характеристик ЩОМ-3000 с ЩОМ-1400

Параметр	ЩОМ-1400	ЩОМ-3000
Производительность, м³/ч	до 1400	до 3000
Рабочая скорость, м/ч	до 450	до 750
Самоходность	нет	да
Число секций	1	2 (модульные)
Применение геотекстиля	да	опционально
Глубина очистки, мм	250-700	200-1000

Сравнительный анализ щебнеочистительных машин ЩОМ-1400 и ЩОМ-3000 показывает, что для достижения высокой производительности недостаточно мощных рабочих органов – необходимо интеллектуальное управление параметрами резания, вибрации и перемещения. Современные тенденции модернизации щебнеочистительных машин включают:

– лазерное сканирование пути перед рабочим органом – дальномеры непрерывно отслеживают рельеф, и глубина погружения выгребного устройства корректируется автоматически, чтобы не повредить шпалы;

– бортовой вычислитель фиксирует продольный и поперечный профиль срезанного балласта, формируя отчёт о качестве работ;

– телеметрия с GPS/ГЛОНАСС позволяет диспетчеру видеть в реальном времени координаты, скорость, обороты грохота и заполнение бункеров;

– автоматическое ведение поддерживает оптимальную рабочую скорость, подстраиваясь под степень загрязнения щебня, которую определяет инфракрасный датчик на потоке материала [3].

Все выше перечисленные системы повышают производительность и предотвращают аварийные ситуации, которые связанны с перегрузкой цепного конвейера или забиванием грохота.

По оценкам разработчиков, применение технологий, реализованных в ЩОМ-3000, даёт экономический выигрыш около 34 % по сравнению с классическими методами ремонта. Основные источники эффекта:

– сокращение времени ремонтного «окна» на 30–40 %: на дистанции 1,5 км ЩОМ-1400 работает 6–7 часов, а ЩОМ-3000 завершает тот же объём за 3,5–4 часа;

– уменьшение парка техники за счёт более высокой выработки на одну машину;

– снижение себестоимости очистки кубометра щебня благодаря экономии топлива и отказу от маневрового локомотива;

– повышение надёжности через модульную конструкцию – если одна секция выходит из строя, работы продолжаются на другой.

По расчётам специалистов группы ПТК, начальные инвестиции в покупку ЩОМ-3000 возвращаются за 3–4 года регулярной эксплуатации.

Несмотря на достигнутые успехи, инженеры ставят перед собой новые цели:

– установить два параллельно работающих грохота с увеличенной площадью просеивания и изменить угол подачи материала – это позволит выйти на производительность 4000 м³/ч;

– перевести основные исполнительные механизмы на электрический привод, что снизит выбросы углекислого газа и уровень шума;

– перевести основные исполнительные механизмы на электрический привод, что снизит выбросы углекислого газа и уровень шума;

– использовать алгоритмы искусственного интеллекта, которые по данным предыдущих проходов будут прогнозировать степень загрязнения щебня и автоматически подбирать оптимальный режим очистки.

Перспективным считается и создание гибридных комплексов, одновременно выполняющих правку пути с подбивкой шпал и очистку балласта.

Библиографический список

1. Попович, М. В. Путевые машины : учебник для вузов железнодорожного транспорта / М. В. Попович, В. М. Бугаенко, Б. Г. Волковой-

нов [и др.] ; под редакцией М. В. Поповича, В. М. Бугаенко. – Москва : Желдориздат, 2007. – 712 с. – Текст : непосредственный.

2. Щебнеочистительные машины нового поколения // Путь и путевое хозяйство : журнал. – 2017. – № 10. – С. 18–37. – Текст : непосредственный.

3. Группа ПТК представила модернизированный ЩОМ-3000 // Вестник Института проблем естественных монополий: техника железных дорог. – 2026. – № 2. – С. 12–15. – Текст : непосредственный.

4. Россия: машина производства входящего в группу завода «Тулажелдормаш» в ходе опытной эксплуатации на Октябрьской железной дороге РЖД подтвердила заявленную производительность в 1500 м³/ч на секцию. – URL : https://rollingstockworld.ru/putevaya-tehnika/gruppa-ptk-planiruet-sertificzirovat-kompleks-shhom-3000-v-etom-godu/ – Текст : электронный.

5. Новые щебнеочистительные машины ЩОМ-1400. – URL : https://dzen.ru/a/XrMkjdrcWhiETQpg – Текст : электронный.

Сведения об авторе:

Шевандо Марина Федоровна, преподаватель специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство», Самарский колледж железнодорожного транспорта имени А. А. Буянова – структурное подразделение ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет путей сообщения», г. Самара, Россия, marina.shevando@mail.ru.

РАЗДЕЛ 2. ЦИФРОВАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗКАМИ

Багдасарян А. А., Эсаулов В. А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ В ГРАНИЦАХ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Восточный полигон работает в режиме постоянного роста объема перевозок, который достигается за счет увеличения пропускных и провозных способностей железнодорожных линий. Пропускная способность растет в рамках реализации планов модернизации инфраструктуры, а рост провозной способности, в значительной мере, достигается путем системного увеличения количества обращающихся на участках поездов повышенной массы. В статье представлена оценка влияния растущего тяжеловесного поездопотока на реальную провозную способность восточного участка Транссиба за последние несколько лет, предложены технологические решения, позволяющие повысить результативность организации движения на сегменте Восточного полигона со сложным планом и профилем пути.

Ключевые слова: объем перевозок, пропускная и провозная способность, результативность организации движения, поезда повышенной массы.

Развитие тяжеловесного движения в текущих реалиях организации перевозочного процесса приобретает системный характер. Об этом говорят исторические данные о повышении средней массы груженых составов, поступающих по стыковому Архара Дальневосточной железной дороги. Представленная на рис. 1 динамика изменения массы поездов в период с 2022 г. по 2025 г. позволяет говорить о повышении массы входящего поездопотока на 6 % (+341 тонна).

Изучению тяжеловесного движения и его влиянию на перевозочный процесс посвящен ряд научных работ. В статье [1] научный коллектив отмечает тенденцию к повышению норм массы грузовых поездов как одного из приоритетных направлений, позволяющий увеличить резерв пропускной и провозной способностей. Авторы приводят аргументы в пользу развития тяжеловесного движения через призму повышения эффективности работы железных дорог в рыночных условиях. Рассмат-

риваются варианты увеличения количества поездов повышенной массы, как за счет модернизации инфраструктуры для организации тяжеловесного движения, так и технологические варианты пропуска таких поездов через участки со сложным планом и профилем пути. В статье [2] авторы отмечают сдерживающий фактор развития тяжеловесного движения – смешанное движение грузовых и пассажирских поездов, при этом отмечается необходимость вождения поездов повышенной массы по специально закрепленным ниткам графика. В статье [3] авторами отмечено, что решение стратегической задачи поступательного увеличения провозной способности Восточного полигона, утвержденной Транспортной стратегией РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [4], невозможно без увеличения числа поездов повышенной массы. Безусловно, совершенствование технологии пропуска поездов повышенной массы невозможно без внедрения современных информационных систем. В статье [5] железная дорога с тяжеловесным движением представляется как бережливое производство с цифровым управлением, которое полностью интегрировано с системой поставок массовых грузов. При этом поезда следуют по предварительно запланированным ниткам графика.

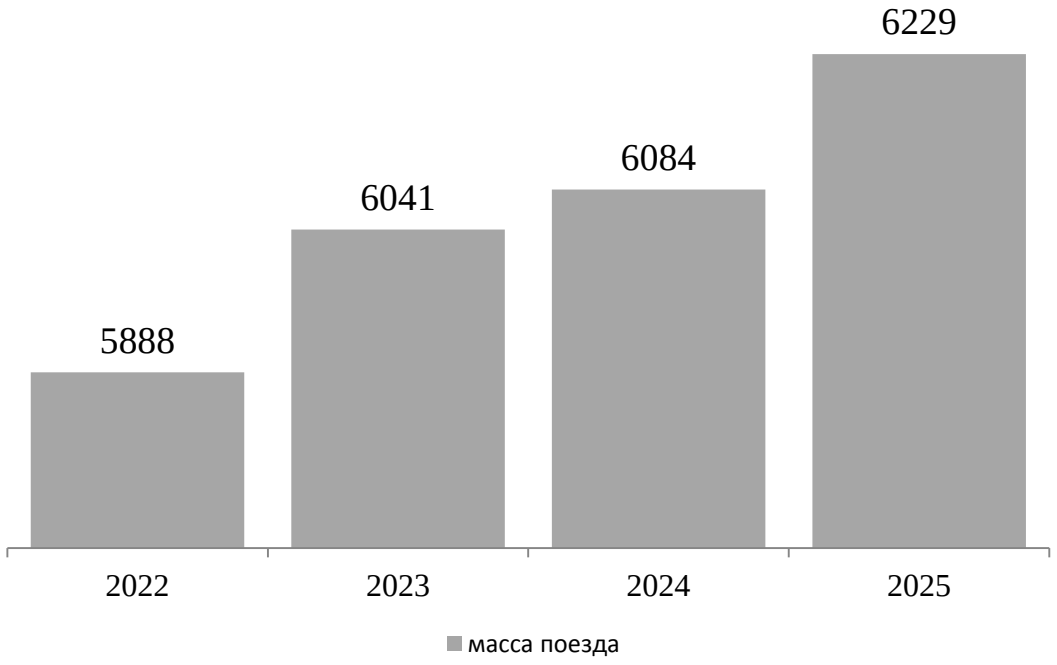


Рис. 1. Динамика изменения средней массы груженых составов, поступающих по стыковому пункту Архара Дальневосточной железной дороги

Анализ технологии работы с тяжеловесными поездами на восточном участке Транссиба

На сегодняшний день в границах Дальневосточной железной дороги действует технология пропуска грузовых поездов на железнодорожные станции Находкинского направления, которая предусматривает уменьшение массы грузовых поездов до 6300 тонн для локомотивов серии 4ЭС5К и до 5700 тонн для локомотивов серии 3ЭС5К на выделенных станциях. Данная технология позволяет решать задачи пропуска поездопотока в порты Находкинского узла. При рассмотрении динамики поступления поездов массой 7100 тонн видно, что количество таких поездов, поступающих по стыку Архара, ежегодно растет (рис. 2).

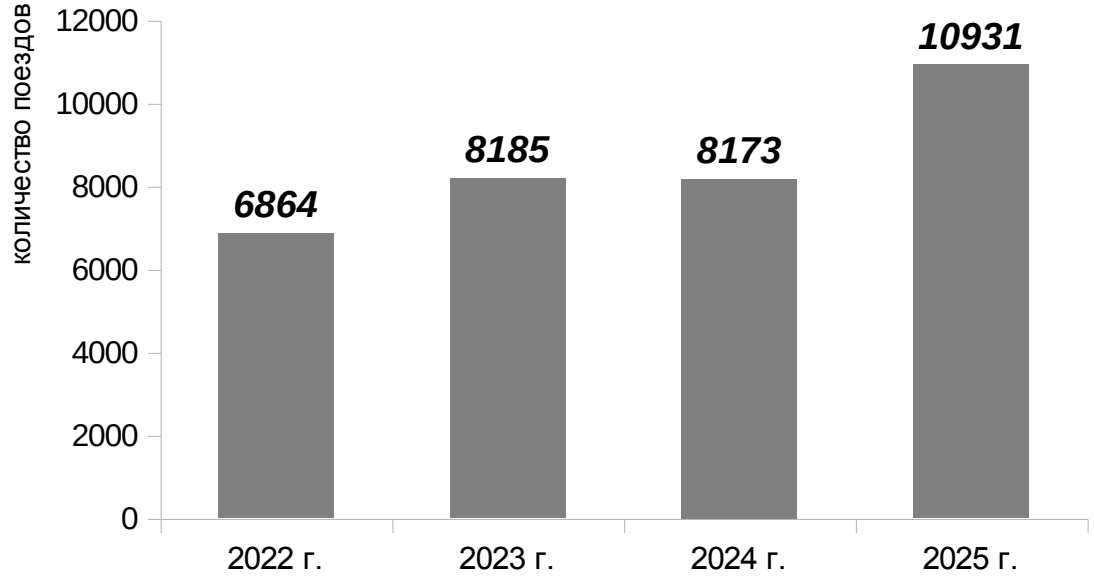


Рис. 2. Динамика поступления поездов, массой 7100 тонн по стыковому пункту Архара в период 2022–2025 гг.

Постоянный рост поступления поездов массой 7100 тонн приводит к замедлению потока поездов на участках перелома массы поезда: Корфовская – Губерово, Угловая – Лозовый, а также дефициту пропускных способностей на восточном участке Транссиба за счет образования на станциях перелома массы дополнительных поездов, формируемых из отцепляемых групп вагонов. Одновременно с ростом количества поступающих на Дальневосточную железную дорогу поездов повышенной массы, растет и количество формируемых дополнительных составов из отцепляемых групп. Необходимо отметить, что на участке Корфовская – Губерово в 1 квартале 2026 г. в среднем ежесуточно формировалось 2,9 дополнительных составов из вагонов, отцепленных в результате

перелома массы поездов. Проведенный анализ позволяет говорить о дефиците пропускных способностей на данном участке Транссиба, и необходимости снижения количества вагонов, отцепляемых от транзитных поездов повышенной массы, за счет сокращения плеча использования 4-х секционных электровозов для вождения поездов через сегменты со сложным планом и профилем пути на участке Смоляниново – Находка (узел).

Технологическое решение по повышению результативности организации движения на участках перелома весовой нормы

С целью совершенствования полигонной технологии организации движения поездов в границах Восточного полигона предлагается усовершенствованная модель технологии пропуска поездопотока на участке Хабаровск-2 – Смоляниново – Находка (узел), при организации которой исключается пропуск поездов с массовыми грузами через горно-перевальный участок поездов массой менее 6300 т. Данная технология предусматривает организацию размена локомотивов тонн серии 3ЭС5К на электровозы серии 4ЭС5К (2х2ЭС5К) под поездами массой 7100–8000 тонн по станциям Хабаровск-2, Бикин, Губерово с одновременным переломом массы данных поездов, до 6300 тонн. Использование данной модели позволит оптимизировать загрузку графика движения грузовых поездов в четном направлении на участке Смоляниново – Находка (узел) за счет продвижения груженых составов массой 6300 тонн, с одновременным повышением качества использования силы тяги локомотивов, работающих на данном участке.

Положительный эффект от данной технологии прогнозируется достичь посредством увеличения средней составности грузовых поездов на участке Смоляниново – Находка (узел) в восточном направлении и, как следствие, снижении количества отцепляемых вагонов от поездов повышенной массы на станциях Губерово, Бикин, Смоляниново, Хабаровск-2, снижении дополнительного поездообразования по этим станциям. Усовершенствованная модель несет в себе потенциал улучшения показателей графика исполненного движения на участке массовой переработки тяжеловесных поездов, а также снижения количества отставляемых от движения грузовых поездов назначением на станции узла Находка.

Библиографический список

1. Кузьмина, Н. А. Исследование условий для вождения тяжеловесных поездов на направлении Кузбасс – Дальний Восток / Н. А. Кузьмина, В. В. Широкова // Вестник Сибирского государственного универси-

тета путей сообщения. – 2021. – № 3(58). – С. 14–22. – Текст : непосредственный.

2. Бакалов, М. В. О проблемах и способах движения тяжеловесных поездов на Северо-Кавказской железной дороге / М. В. Бакалов, В. Н. Зубков // Электронный научный журнал. – 2016. – № 7(10). – Текст : непосредственный.

3. Эсаулов, В. А. О развитии тяжеловесного движения на Восточном полигоне / В. А. Эсаулов, Е. В. Мединцев // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2025. – № 1(42). – С. 119–123. – Текст : непосредственный.

4. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. [утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации № 3363р от 27.11.2021 г. (с изменениями на 06.11.2024 г.)]. – Текст : непосредственный.

5. Цифровизация тяжеловесного движения : статья // Железные дороги мира. – 2024. – № 3. – С. 33–36. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Багдасарян Артём Альбертович, заместитель начальника Дальневосточной железной дороги – филиала ОАО «РЖД» (по территориальному управлению) (ОАО «РЖД», 680021, г. Хабаровск, ул. Локомотивный проезд, д. 7, +7(4212)38-23-00), 89141801748, mr.bagdasaryan@inbox.ru ;

Эсаулов Вячеслав Александрович, кандидат технических наук, начальник Дальневосточного отдела информационного анализа Управления логистики перевозок и местной работы Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», 680021, г. Хабаровск, ул. Калинина 66, +7(4212)38-44-89, доцент кафедры «Управление процессами перевозок» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС, 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47, +7(4212)407-516), 89143568776, esaulov-87@mail.ru.

Горохова И. А.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПОРНОЙ СЕТИ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ БАГАЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА

Благодаря развитым водным путям и их большой протяжённости, которая составляет не менее 100 тыс. км, Российская Федерация заняла 2-е место в мире. Согласно данным статистики, в тех регионах Рос-

сии, где водная транспортная система функционирует активно, развиты и другие сферы: прежде всего, экономическая. Она формирует 90 % ВВП от общего показателя страны. Невзирая на преимущества такого вида транспорта, около 80 % маршрутов не могут осуществлять пассажирские перевозки и доставлять грузы в регионы, которые представляют высокую значимость для того, чтобы обеспечивать России высокое положение на мировой арене.

Ключевые слова: логистика на водном транспорте, управление перевозками, перевозки, речной транспорт, внутренние водные пути.

Водный транспорт предназначен для перевозки пассажиров и грузов, благодаря этому стабильно функционирующему сегменту транспортная система государства находится на высоком уровне. Такая взаимосвязь диктует необходимость своевременного выявления в этой сфере аспектов, которые требуют внесения коррективов, и их дальнейшую реализацию с помощью грамотных действий.

Преимущества речного вида транспорта – многочисленные и подтверждённые на практике: прежде всего, следует акцентировать внимание на факторе цены, поскольку у грузоперевозок такого типа невысокая себестоимость. Другие очевидные положительные аспекты речного вида транспорта – незначительные расходы, предусмотренные для основания и дальнейшего содержания объектов инфраструктуры, а также высокий уровень энергоэффективности. Перечисленные преимущества выгодно выделяют возможность использования речного транспорта на фоне остальных вариантов, подчеркивают то, насколько важно усовершенствовать эту отрасль транспортной системы страны.

Следует учитывать, что речной транспорт – экологичный: по сравнению с другими вариантами, у него незначительный объем выбросов в окружающую среду; он функционирует на альтернативном топливе. У такого вида транспорта большие перспективы, поскольку его специфика позволяет эффективно и своевременно доставлять грузы большого веса и крупных габаритов. Опорная сеть внутренних водных путей Российской Федерации достигает не менее 49 тыс. км. Эта особенность служит основой для того, чтобы эффективно организовать речные перевозки в пределах государства [1].

Для продолжения эффективного перемещения пассажиров и грузов, сегодня на правительственном уровне утверждены и контролируются мероприятия, направленные на развитие опорной сети водного транспорта России. Первоочередным действием признана необходимость модернизации судоходного канала, пролегающего от Городца до Нижнего

Новгорода. По заключению специалистов, действия по ремонту и реконструкции должны включать в себя восстановление двух судоходных шлюзов, относящихся к Городецкому гидроузлу. Также в ближайших планах – обновление объектов инфраструктуры канала имени Москвы или дополнение их новыми сооружениями; окончание строительства Багаевского гидроузла; модернизация судоходных плотин гидроузлов Азово-Донского бассейна; улучшение технического состояния гидротехнических сооружений и водных путей Енисейского бассейна. Профессионалы усматривают целесообразность и в восстановлении функционирования дренажных систем, которые относятся к дамбам нижнего подходного канала Новосибирского шлюза.

Сегодня финансовые ресурсы и профессиональный потенциал специалистов в совокупности направлены на то, чтобы поспособствовать развитию опорной сети водного транспорта России. Для обеспечения эффективных, своевременных пассажирских перевозок и доставок груза, решено увеличить внутренние водные маршруты на протяжённость не менее 600 км. При этом гарантированная осадка должна составлять 3,6 м. Также для улучшения состояния и работы речного транспорта предстоит сократить протяжённость лимитирующих участков: с 667 км до 68 км, соответственно.

На профессиональном уровне рассмотрена необходимость строительства и восстановления не менее 50 гидротехнических сооружений, улучшения состояния речных портов и объектов инфраструктуры, имеющих отношение к причалам. Для увеличения качества перевозок решено интегрировать в водную транспортную систему современные цифровые программы управления и контроля, которые характеризуются автоматизированным типом функционирования.

В данной статье предлагаем рассмотреть значение Багаевского гидроузла для осуществления водных перевозок: как пассажирских, так и грузовых.

Рисунок 1 отражает карту Единой глубоководной системы (ЕГС) Европейской части Российской Федерации.

Протяжённость системы внутренних водных путей составляет 6500 км. В структуру включены моря (Белое, Балтийское, Каспийское, Азовское и Чёрное), озера (Онежское, Ладожское) и реки (Волга, Дон, Москва, Кама). ЕГС Европейской части России решает несколько важных задач: от обеспечения бесперевалочных пассажирских и грузоперевозок до выработки электроэнергии, предотвращения наводнения и обводнения рек. Перечисленные цели удаётся достичь за счет того, что Единая глубоководная система Европейской части Российской Федера-

ции снабжена более чем 740 сооружениями гидротехнического вида (от плотин и шлюзов до гидроузлов). Перечисленные объекты, которые входят состав этого комплекса, функционируют без сбоев: стабильно, налажено, как одна единая система, в которой каждый составляющий компонент выполняет важную функцию [2].



Рис. 1. Единой глубоководной системы (ЕГС)
Европейской части Российской Федерации

Благодаря специфике этих объектов становится возможным прохождение даже небольших по габаритам судов: включая такой военный транспорт, как подводные лодки (в надводном положении), военные корабли, док-баржи. Такая особенность является неоспоримым преимуществом, поскольку в случае необходимости без труда удастся выполнить ротацию флота с южного направления на северное, или же наоборот.

Судоходный Волго-Донской канал, введенный в эксплуатацию 27 июля 1952 г., начали строить еще в 1697 г., но затем работы приостановили, поскольку началась Северная война со Швецией. Шлюзование Дона началось накануне Первой Мировой войны. На реке до Калача-на-Дону в Волгоградской области планировали возвести 9 шлюзов: Кочетовский, Константиновский, Николаевский, Сухореченский, Цимлянский, Нагавский, Потемкинский, Кобылянский, Рычковский.

Рисунок 2 отражает каскад гидроузлов Нижнего Дона.

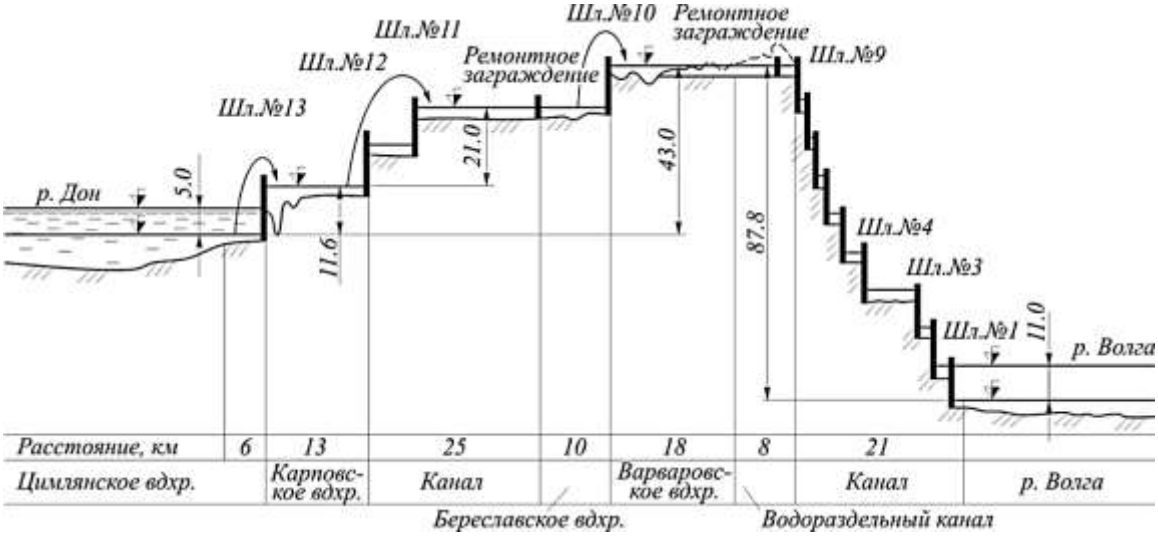


Рис. 2. Каскад гидроузлов Нижнего Дона

Водность Дона характеризуется цикличностью, но зависит от сброса воды в Цимлянское водохранилище: сегодня этот показатель находится на минимальном уровне и не достигает 36 м, что вызывает ряд неблагоприятных последствий для сферы хозяйства, почти полностью исключает вероятность того, что она будет находиться на высоком уровне.

Как известно, вода требуется для разных направлений: от сельского хозяйства до промышленности, энергетики. Когда водность Дона низкая, невозможно полноценное осуществление пассажирских и грузоперевозок. Также следует помнить и о том, что в состоянии водного дефицита невозможно функционирование крупнотоннажного флота.

Рисунок 3 отражает схему Волго-Донского канала и структуру гидроузлов Нижнего Дона.

Багаевский гидроузел представляет собой один из наиболее крупных объектов транспортной водной инфраструктуры, расположенной в южной части Российской Федерации. Согласно планам, он должен выполнять сразу несколько важных функций: способствовать сохранению воды в Цимлянском водохранилище, формировать благоприятные условия для стабильного перемещения крупнотоннажных судов; выводить пропускную способность реки на новый, более высокий уровень.

Багаевский гидроузел расположен рядом с хутором Арпачин (Багаевский район, Ростовская область). Объект состоит из двухниточного шлюза, протяжённость плотины составляет 307 м. Целесообразность создания такого гидроузла была рассмотрена в 2012 г. Но в 2015 г. целесо-

образность приняла форму необходимости, поскольку уровень Дона в Цимлянском водохранилище достиг критически низкого показателя.



Рис. 3. Схема Волго-Донского канала и структуру гидроузлов Нижнего Дона

Рисунок 4 отражает план Багаевского гидроузла. В 2026 г. был завершён первый этап строительства этого объекта, но согласно плану, всего их два.



Рис. 4. План Багаевского гидроузла

Сегодня в структуру Багаевского гидроузла входят сооружения технической инфраструктуры и производственного назначения. Дополнительно установлены дамбы, регулирующие русло: они выполняют сразу несколько функций. Во-первых, эти конструкции помогают судам передвигаться безопасно; во-вторых, они предотвращают обрушение берегов; в-третьих, защищают население, проживающее вблизи гидроузла, от неблагоприятного воздействия вод. Следовательно, пользу от функционирования Багаевского гидроузла невозможно переоценить. Особенно с учётом того, что увеличится пропускная способность участка (не менее, чем на 19 млн т грузов за 1 год); водой удастся обеспечить примерно 1,2 млн человек местного населения. Немаловажно и то, что в низовьях Дона улучшится экологическая обстановка, нормализуется баланс.

Кроме уже перечисленных объектов, в структуру Багаевского гидроузла включён и новый поселок, организованный для сотрудников гидроузла (состоит из 30 строений).

Особенность и одновременно преимущество Багаевского гидроузла в том, что для его возведения использованы материалы и оборудование отечественного производства, а также программное обеспечение российских компаний; привлечены лучшие специалисты РФ.

31 марта 2026 г. президент России Владимир Путин в формате видеосвязи открыл первый этап Багаевского гидроузла.

В планах завершить второй этап строительства Багаевского гидроузла в 2027 г. Согласно проекту, он будет включать в себя улучшение берегоукрепления, возведение плотины, создание инженерных сетей и других объектов, необходимых для полноценного обеспечения пассажирских и грузовых перевозок.

Полный ввод в эксплуатацию Багаевского гидроузла запланирован на 2028 год. Но функционирование судоходного шлюза успешно протестировано уже осенью 2025 года.

Благодаря работе Багаевского гидроузла улучшится экономическая ситуация в стране: в т. ч. и потому, что повысится качество перевозок пассажиров и грузов. Этот элемент единой глубоководной системы Европейской части Российской федерации нормализует уровень туризма, создаст благоприятные условия для выведения промышленности на более высокий уровень.

Кроме остальных целей, Багаевский гидроузел создан для увеличения глубины водного пути минимум на 4 м на сегменте от Кочетовского гидроузла до города Аксай. С этой целью создано искусственное водохранилище: за счет плотины, которая путём перекрытия реки, увеличивает высоту воды по течению. Такая особенность создаёт благоприятные

условия для беспрепятственного прохождения крупнотоннажного флота. Следовательно, функционирование Багаевского гидроузла представляет важное стратегическое значение.

На основании вышеизложенной информации следует, что наличие Багаевского гидроузла представляет собой ценность: военно-стратегическую, социальную, экономическую, геополитическую. Он гарантированно улучшает состояние водной транспортной системы, создаёт благоприятные условия для функционирования хозяйственных сфер (к ним относится рыбный промысел, земледелие), обеспечивает развитие инфраструктуры, способствует разведению редких рыб (проект предусматривает создание рыбоходно-нерестового канала, который становится своего рода заповедной зоной).

Библиографический список

1. Домнина, О. Л. Анализ состояния транспортного комплекса России в текущих условиях / О. Л. Домнина // Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», г. Санкт-Петербург, 25 сентября – 20 октября 2023 г. – Санкт-Петербург : Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, 2023. – С. 86–89. – EDN IKFSZU. – Текст : непосредственный.

2. Горохова, И. А. Независимость технологий в сфере водного транспорта страны / И. А. Горохова // Актуальные вопросы публичного управления, экономики, права в современных геополитических условиях : сборник материалов II Международной научно-практической конференции, г. Калининград, 29 марта 2025 г. – Киров : Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2025. – С. 186–188. – EDN IAHSQL. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Горохова Ирина Анатольевна, к.т.н., доцент кафедры «Управление транспортом», ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», г. Нижний Новгород, Россия, paleya@mail.ru.

Данилова А. С., Ранюк С. А., Триппель Д. А.

К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИНАЛЬНО-СКЛАДСКОГО КОМПЛЕКСА

В статье уточняется сущность логистического процесса предприятия, систематизируются принципы его формирования и типовые проблемы реализации на практике. Рассматриваются современные методы оптимизации (цифровизация, бережливое производство, роботизация). Особое внимание уделено роли логистики в управлении эффективностью предприятия и требованиям к компетенциям специалистов в условиях цифровой трансформации. На примере терминально-складского комплекса N проведен SWOT-анализ, выявлены ключевые ограничения (износ подвижного состава 87 %, коэффициент выпуска на линию 0,78). Предложены пути повышения эффективности с учётом человеческого фактора и цифровых компетенций.

Ключевые слова: логистический процесс, терминально-складской комплекс, эффективность, цифровизация, компетенции специалистов, управление предприятием, мультимодальные перевозки.

Роль логистики в управлении эффективностью современного предприятия трудно переоценить: она обеспечивает синхронизацию материальных, информационных и финансовых потоков, напрямую влияя на издержки и скорость оборота капитала [2]. Однако традиционная организация логистических процессов зачастую сталкивается с разрывом между теоретическими принципами (прозрачность, непрерывность, гибкость) и реальной практикой, где преобладают ручное управление, неэффективное использование пространства и износ оборудования [1].

Особое место в инфраструктуре занимают терминально-складские комплексы (ТСК) – узлы консолидации, сортировки, временного хранения и перевалки грузов между видами транспорта. На примере ТСК N рассмотрены основные проблемы: дефицит прозрачности операций, неэффективное использование площади (потери до 25 % «мёртвых зон»), поломки оборудования, ошибки персонала и недостаточный уровень автоматизации [1].

В условиях цифровизации логистики особые требования предъявляются к компетенциям специалистов [3], так цифровая трансформация требует от логистов не только традиционных знаний в области управления запасами и транспортом, но и навыков работы с ERP/WMS/TMS-системами, анализа больших данных, понимания основ программирова-

ния и кибербезопасности. Без соответствующей подготовки персонала даже самые современные IT-решения не дадут ожидаемого эффекта.

Для оценки текущего состояния ТСК N был проведен SWOT-анализ и выявлены такие сильные стороны (стратегическое расположение на магистральном транспортном коридоре, высокая техническая оснащённость (козловые краны до 45 т), развитая инфраструктура (36 200 м²), цифровизация (системы ЭТРАН, АСУ, RFID, ГЛОНАСС/GPS)) и слабые стороны (устаревший парк (87 % техники старше 5 лет, 31 % превысили нормативный пробег 700 тыс. км), низкий коэффициент выпуска на линию (0,78), зависимость от стороннего автотранспорта, неравномерная загрузка площадей, ограниченные услуги для МСБ, а также недостаточный уровень цифровых компетенций части персонала).

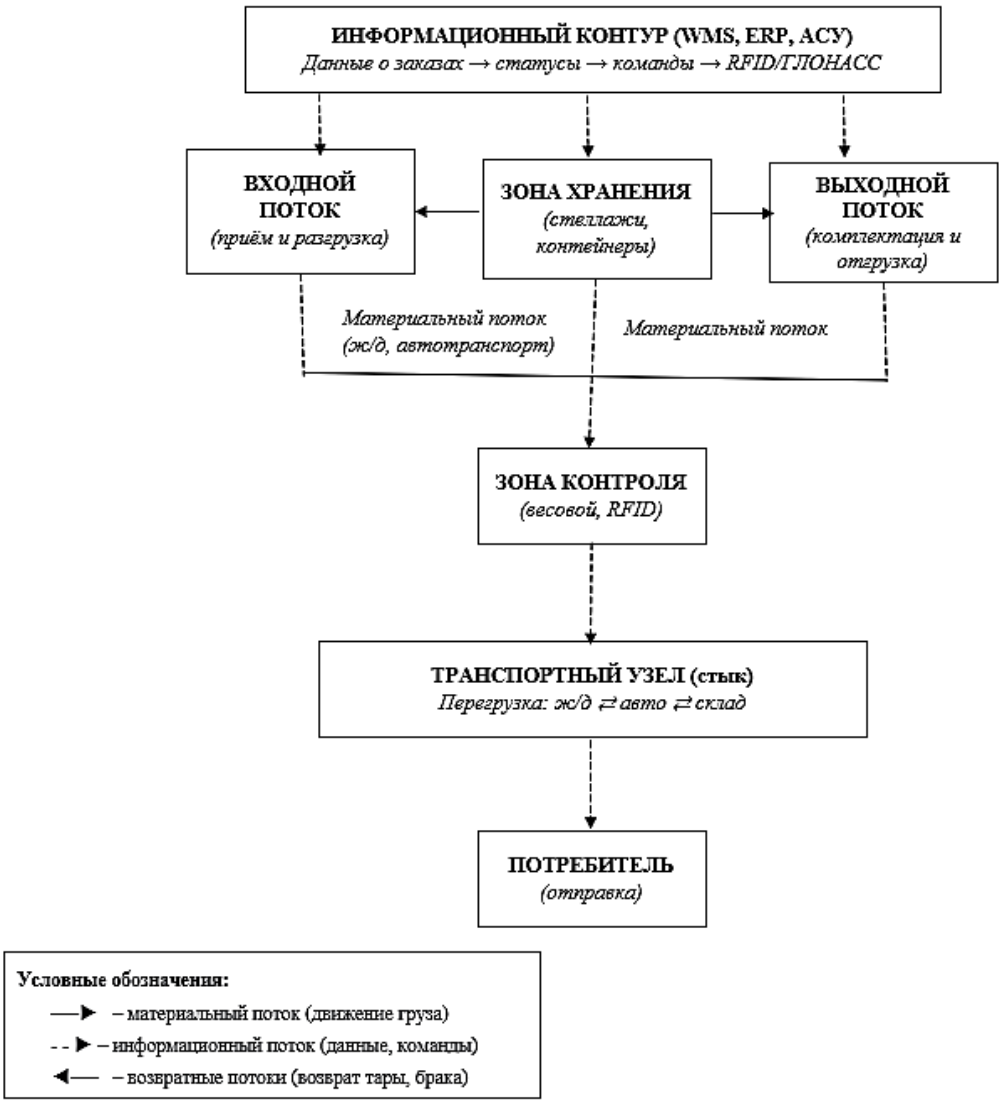


Рисунок. Схема логистических потоков ТСК N

На Рисунке представлена схема логистических потоков ТСК Предприятия N, которая отражает движение материальных и информационных потоков между основными функциональными зонами: зона приёма и разгрузки, зона хранения, зона комплектации, зона отгрузки, а также информационный контур управления (включая WMS и системы трекинга). Схема наглядно демонстрирует точки пересечения потоков и «узкие места» – например, передачу данных между складским учётом и транспортными подразделениями.

Как видно из Рисунка, наибольшая плотность потоков наблюдается в зоне комплектации и на стыке между складом и зоной отгрузки, что подтверждает данные о необходимости оптимизации именно этих этапов. Кроме того, информационный контур охватывает не все операции: часть перемещений сопровождается бумажным документооборотом, что создаёт риски задержек и ошибок.

Современные методы оптимизации включают цифровизацию (внедрение ERP, WMS, TMS), роботизацию, «умную» логистику на основе IoT, бережливое производство (5S, картирование потока) и мультимодальные перевозки. Внедрение WMS, как показывает практика, снижает затраты на обработку на 15–25 %, повышает точность комплектации до 99 %, сокращает время обработки заказа на 30–40 % [4, 5]. Сама по себе автоматизация не гарантирует роста эффективности предприятия без параллельного реинжиниринга бизнес-процессов и повышения квалификации персонала [2].

Основные технические характеристики оборудования ТСК представлены в Таблице.

Таблица

Технические характеристики складского оборудования

Показатель	Значение
Грузоподъёмность кранов:	до 45 т
Общая площадь комплекса:	36 200 м²
Коэффициент технической готовности:	0,83
Коэффициент использования грузоподъёмности:	0,9

Для количественной оценки эффективности используется интегральный показатель, учитывающий время обработки заказа, точность комплектации и загрузку оборудования. Время цикла обработки одного контейнера определяется по формуле

$$T_{\text{цикл}} = t_{\text{разгр}} + t_{\text{хран}} + t_{\text{компл}} + t_{\text{погр}} ,$$

где $t_{разгр}$ – время разгрузки, $t_{хран}$ – время на размещение и хранение, $t_{компл}$ – время комплектации, $t_{погр}$ – время погрузки. Фактические значения для ТСК N $T_{цикл}$ = 3,8 часа после внедрения WMS, что на 41,5 % меньше исходного уровня.

Основные пути повышения эффективности включают: модернизацию парка (замена 31 % единиц, превысивших нормативный пробег); внедрение предиктивной аналитики на основе данных спутниковой навигации; расширение LTL-сервисов и мини-складов для МСБ; создание единого цифрового окна с перевозчиками; регулярные аудиты по бережливому производству; а также развитие цифровых компетенций персонала – обучение работе с WMS/TMS, аналитическим платформам и средствам кибербезопасности [3]. Ожидаемый эффект – повышение коэффициента выпуска до 0,85, сокращение затрат на обработку на 12–15 %, снижение ошибок комплектации до 1,5 % и уменьшение текучести кадров за счёт роста удовлетворённости трудом [2, 6].

Таким образом, организация логистических процессов в ТСК требует не только синхронной модернизации основных фондов и внедрения информационных систем, но и системной работы с человеческим капиталом. Только комплексный подход, объединяющий техническое переоснащение, цифровизацию и развитие компетенций, позволяет приблизить реальную работу к «идеальной модели», заданной принципами прозрачности, непрерывности и эффективности.

Библиографический список

1. Есин, М. С. Современные проблемы управления логистикой: оптимизации ресурсов при транспортировке грузов / М. С. Есин, А. А. Корепанова, А. А. Сабреков // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. – 2023. – Т. 14. – № 3(60). – С. 49–56. – Текст : непосредственный.

2. Здрестова-Захаренкова, С. В. Роль логистики в управлении эффективностью торгового предприятия / С. В. Здрестова-Захаренкова, А. С. Данилова // Логистические системы в глобальной экономике. – 2016. – № 6. – С. 158–160. – Текст : непосредственный.

3. Данилова, А. С. Формирование требований к компетентностям специалистов в сфере логистики в условиях цифровизации / А. С. Данилова // Логистические системы в глобальной экономике. – 2020. – № 10. – С. 115–119. – Текст : непосредственный.

4. Герасименко, И. С. «Умные склады» – Dark stores / И. С. Герасименко // Аллея науки. – 2020. – № 2. – С. 624–627. – Текст : непосредственный.

5. Какаджанова, Д. Современные подходы к оптимизации логистических процессов: модели, методы и технологии / Д. Какаджанова, А. Овезмырадов, А. Рахмедова // Символ науки. – 2025. – Т. 1. – № 1. – С. 48–50. – Текст : непосредственный.

6. Дыбская, В. В. Логистика: интеграция и оптимизация / В. В. Дыбская, Е. И. Зайцев, В. И. Сергеев. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 944 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Данилова Альбина Сергеевна, к.э.н., доцент кафедры «Управление персоналом», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», Красноярский край, г. Красноярск, Россия, danilova_as@krsk.irgups.ru ;

Ранюк Софья Александровна, магистрант, Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», Красноярский край, г. Красноярск, Россия, daryabrewnowa@yandex.ru ;

Триппель Дарья Алексеевна, студент, Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», Красноярский край, г. Красноярск, Россия, daryabrewnowa@yandex.ru.

Джигерханова К. М., Никифорова Л. Х.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В УПРАВЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЁТОВ

В исследовании рассматриваются основные причины авиационных происшествий и их влияние на безопасность полётов. Приоритетную роль играет человеческий фактор, что определяет необходимость совершенствования найма, оценки и подготовки персонала, а также внедрения современных информационных технологий.

Ключевые слова: безопасность полётов, авиационные происшествия, человеческий фактор, CRM, TCAS, искусственный интеллект.

Воздушный транспорт считается одним из наиболее безопасных видов транспорта. За последние десятилетия уровень безопасности полётов значительно повысился, в том числе благодаря развитию авиационной техники, совершенствованию навигационных систем и внедрению современных стандартов подготовки авиационного персонала. Согласно данным Международной организации гражданской авиации (ICAO), долгосрочная статистика демонстрирует устойчивое снижение числа авиационных происшествий [1].

Тем не менее авиационные происшествия полностью не исключены. Авиационная система представляет собой сложную структуру, включающую взаимодействие человека, техники и организационных процессов. Нарушения или ошибки в любой из этих составляющих могут привести к возникновению критической ситуации.

Одним из ключевых направлений исследований в области безопасности полётов является анализ человеческого фактора. В современной научной литературе человеческий фактор рассматривается не как индивидуальная ответственность, а как часть системного взаимодействия между человеком, техникой и организационной средой.

Несмотря на высокий уровень автоматизации современных самолётов, пилоты продолжают играть центральную роль в управлении воздушным судном. Они принимают решения в условиях неопределённости, высокой нагрузки и ограниченного времени. Поэтому анализ человеческого фактора остаётся важным направлением исследований безопасности полётов.

Целью данной работы является проведение статистического анализа авиационных происшествий и оценка роли человеческого фактора в их возникновении и предупреждении. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- изучить понятие человеческого фактора в авиации;
- проанализировать причины авиационных происшествий;
- определить долю человеческого фактора в исследуемой выборке;
- рассмотреть основные методы снижения влияния человеческих ошибок.

Международная организация гражданской авиации определяет человеческий фактор как совокупность возможностей и ограничений человека, которые могут влиять на эффективность и безопасность авиационной деятельности [1].

Авиационная система включает несколько взаимосвязанных элементов:

- человек (пилоты, диспетчеры, инженеры);

• техника (воздушные суда, системы управления);
• процедуры (инструкции, регламенты);
• среда (погодные условия, аэродромная инфраструктура).

Нарушения или ошибки в одном из элементов могут негативно повлиять на функционирование всей системы. В авиационной практике выделяют несколько основных типов ошибок.

Ошибка экипажа – действие или решение пилота, которое отклоняется от установленных процедур и может привести к ухудшению ситуации.

Нарушение процедур – отклонение от стандартных операционных процедур, разработанных для обеспечения безопасности полётов.

Ошибки взаимодействия – недостаточная коммуникация между членами экипажа или между экипажем и диспетчерскими службами.

Организационные факторы – недостатки в системе подготовки персонала или управлении безопасностью в целом.

Одной из наиболее известных моделей анализа человеческого фактора является модель «швейцарского сыра», предложенная Джеймсом Ризоном. Согласно этой концепции, система безопасности состоит из нескольких уровней защиты. Каждый уровень имеет уязвимости, и происшествие происходит тогда, когда эти уязвимости совпадают и образуют цепочку событий [2].

Также в практике управления используется модель SHELL, которая рассматривает взаимодействие человека с другими элементами системы:

• software – процедуры;
• hardware – оборудование;
• environment – среда;
• liveware – человек.

Такие модели помогают анализировать причины происшествий и выявлять системные проблемы.

Для анализа роли человеческого фактора была сформирована выборка из авиационных происшествий, произошедших в гражданской авиации с 2011 по 2025 гг. В выборку включены происшествия, расследованные Международным авиационным комитетом (МАК), которые охватывают как Российскую Федерацию, так и ряд других государств постсоветского пространства, а также отдельные международные случаи [3]. Для каждого случая определяется основная причина происшествия. Причины были классифицированы по следующим категориям:

• человеческий фактор;
• техническая неисправность;
• погодные условия;
• внешние факторы (в т. ч. и террористические акты).

В некоторых случаях процесс установления причин авиационных происшествий представляет собой сложную задачу. Среди основных проблем диагностики можно выделить:

- многопричинный характер авиационных происшествий;
- ограниченность или повреждение данных бортовых самописцев;
- субъективность оценки действий экипажа и т. д.

В этой связи расследования МАК направлены не только на выявление непосредственной причины, но и на анализ всей цепочки событий (табл. 1).

Таблица 1

Анализ авиационных происшествий МАК (2011–2025 гг.)

№	Кол-во погибших	Год	Тип судна	Эксплуатант	Основной фактор
1	44	2011	Як-42 RA-42434	"Авиационная компания "ЯК СЕРВИС"	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
2	47	2011	Ту-134 RA-65691	ЗАО "Авиакомпания "РусЭйр"	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
3	11	2011	Ан-12 (RA-11125)	Авиакомпания «Авис-Амур»	Человеческий фактор (нарушение правил полёта)
4	7	2011	Ан-24 (RA-47302)	Авиакомпания «Ангара» Восточно-Сибирского МТУ ВТ ФАВТ	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
5	33	2012	ATR-72 VP-BYZ	ОАО « Авиационная компания «ЮТэйр»	Человеческий фактор (нарушение процедур)
6	10	2012	Ан-28 (RA-28715)	Петропавловск-Камчатское авиапредприятие	Человеческий фактор (нарушение процедур)
7	5	2012	Ту-204-100В (RA-64047)	Red Wings Airlines	Техническая неисправность
8	50	2013	Boeing 737 VQ-BBN	ОАО "Авиакомпания "Татарстан"	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
9	21	2013	CRJ-200 UP-CJ006	Авиакомпания "SCAT"	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)

Окончание табл. 1

№	Кол-во погибших	Год	Тип судна	Эксплуатант	Основной фактор
10	4	2014	Falcon 50EX F-GLSA	Авиакомпания «Юниджет»	Человеческий фактор (организационные недостатки)
11	224	2015	A321 EI-ETJ	Авиакомпания Когалымавиа (Метроджет)	Внешние факторы (террористический акт)
12	62	2016	Boeing 737-800 A6-FDN	Dubai Aviation Corporation (United Arab Emirates)	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
13	39	2017	Boeing 747 TC-MCL	Авиакомпания «АСТ Airlines» (Турция)	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
14	6	2017	L-410UVP-E20 (RA-67047)	КГУП АК «Хабаровские авиалинии»	Техническая неисправность
15	4	2017	ТВС-2МС	АО «Нарьян-Марский ОАО»	Человеческий фактор (ошибка пилотирования)
16	71	2018	Ан-148-100В RA-61704	АО "Саратовские авиалинии"	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
17	41	2019	RRJ-95B RA-89098	ПАО «Аэрофлот»	Человеческий фактор (нарушение процедур)
18	2	2019	Ан-24РВ RA-47366	АО «Авиакомпания «Ангара»	Внешние факторы
19	9	2020	Ан-26Б (EX-126)	Авиакомпания Sky Way Air	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа)
20	28	2021	Ан-26Б-100 RA-26085	АО «Камчатское авиационное предприятие»	Человеческий фактор (нарушение процедур)
21	2	2023	Ан-2ТП RA-71165	АО «Нарьян-Марский ОАО»	Погодные условия (обледенение ВС)
22	3	2024	RRJ-95LR-100 RA-89049	ООО Авиапредприятие "Газпром авиа"	Техническая неисправность
23	48	2025	Ан-24РВ RA-47315	АО «Авиакомпания «Ангара»	Человеческий фактор (ошибочные действия экипажа

В результате анализа каждой авиакатастрофы была определена одна доминирующая причина. Это позволило провести количественную и относительную оценку влияния различных факторов на безопасность полётов (рис. 1).

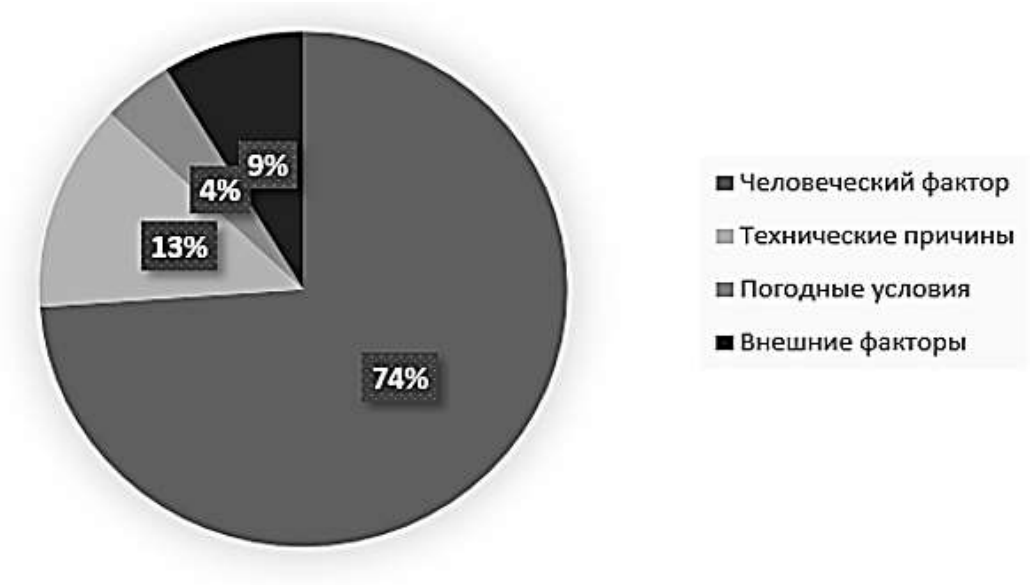


Рис. 1. Статистическое распределение причин авиационных происшествий (2011–2025 гг.)

Анализ распределения причин авиакатастроф показывает явное доминирование человеческого фактора, на долю которого приходится почти три четверти всех происшествий (73,9 %). Это существенно превышает долю технических причин (13,0 %) и внешних факторов (8,7 %), а влияние погодных условий является минимальным (4,3 %). Полученные результаты соответствуют международной статистике. Согласно данным Boeing Statistical Summary, человеческий фактор присутствует примерно в 60–70 % авиационных происшествий гражданской авиации [4].

Таблица 2

**Распределение числа погибших
по причинам авиационных происшествий (2011–2025 гг.)**

Причина авиакатастрофы	Число погибших
Человеческий фактор	529
Технические причины	14
Погодные условия	2
Внешние факторы	226
Всего	771

Для более полного понимания влияния различных факторов на безопасность полётов недостаточно учитывать только количество авиакатастроф, так как их масштабы и последствия сильно различаются. Важно также проанализировать число погибших в зависимости от причины катастрофы, что позволяет оценить тяжесть последствий каждой категории факторов (табл. 2).

Для более наглядного представления распределения доли погибших по причинам авиакатастроф данные визуализированы на рис. 2.

Полученные данные подтверждают, что ключевым фактором, оказывающим наибольшее влияние как на частоту катастроф, так и на тяжесть их последствий, является человеческий фактор – 68,6 % от общего числа жертв (рис. 2). Существенную часть составляют также внешние факторы (содержащие фактор террористических атак) (29,3 %), тогда как вклад технических причин (1,8 %) и погодных условий (0,3 %) остаётся минимальным. В этой связи приоритетным направлением повышения безопасности полётов является совершенствование работы с авиационным персоналом, а также внедрение современных технологий предупреждения и предотвращения аварийных ситуаций, разработка эффективных мероприятий в сфере транспортной безопасности.

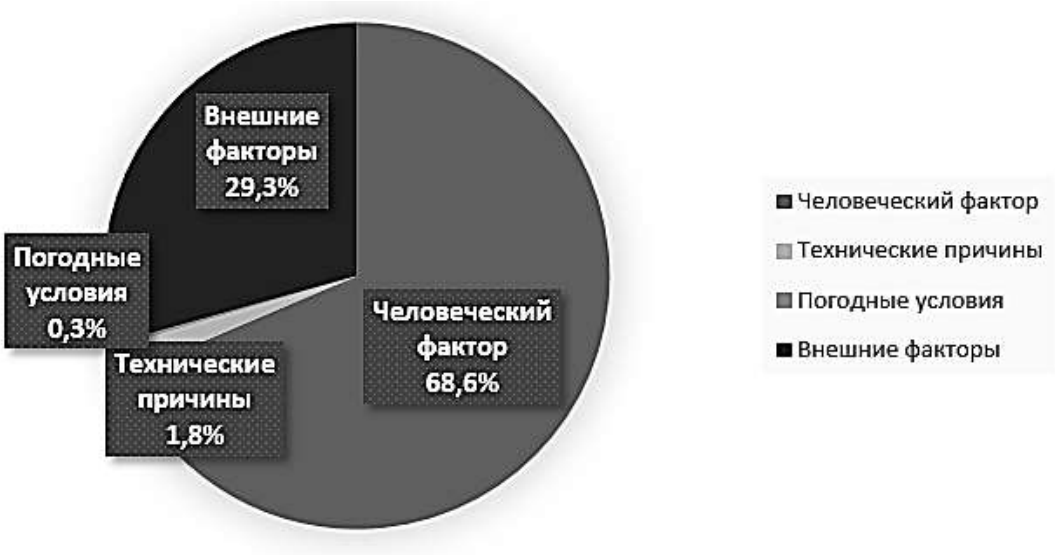


Рис. 2. Доля погибших в авиационных происшествиях по видам причин

Одним из базовых элементов повышения безопасности полётов является развитие системы CRM (Crew Resource Management) – управления ресурсами экипажа. Данная концепция направлена на улучшение взаимодействия между членами экипажа, повышение качества коммуникации и принятия решений в полёте. Как показывает практика рассле-

дований МАК, недостатки взаимодействия в кабине экипажа нередко становятся одной из причин авиационных происшествий [3]. Эффективное применение CRM позволяет снизить вероятность ошибок за счёт распределения нагрузки и взаимного контроля действий пилотов.

Не менее важным направлением является подготовка и переподготовка лётного состава. Современные требования к обучению должны включать не только отработку стандартных процедур, но и моделирование сложных и нештатных ситуаций на тренажёрах. Особое значение имеет формирование навыков принятия решений в условиях дефицита времени и высокой психофизиологической нагрузки. Наряду с этим значимую роль играет система отбора и оценки лётного персонала. На этапе найма проводится комплексная оценка профессиональных и личностных качеств кандидатов, включая уровень подготовки, стрессоустойчивость, способность к быстрому принятию решений и навыки взаимодействия в экипаже. Недостатки, допущенные на этапе отбора, могут в дальнейшем проявляться в реальных условиях полёта и повышать риск возникновения ошибок. Согласно материалам Росавиации, повышение качества подготовки и совершенствование системы оценки персонала являются одними из ключевых факторов обеспечения безопасности полётов [5].

Существенную роль в предотвращении авиационных происшествий играют бортовые системы предупреждения, в частности система TCAS (Traffic Collision Avoidance System). Данная система предназначена для предотвращения столкновений воздушных судов в воздухе и обеспечивает экипаж своевременной информацией о сближении с другими воздушными судами. Использование подобных технологий значительно снижает влияние человеческого фактора и повышает уровень ситуационной осведомлённости пилотов.

Важным элементом современной системы безопасности является многоуровневый мониторинг и контроль, включающий:

- контроль лётной годности воздушного судна;
- оперативный и объективный мониторинг;
- медицинский контроль лётного состава.

Перспективным направлением развития является внедрение технологий искусственного интеллекта в систему управления безопасностью полётов и снижения влияния человеческого фактора. Его использование включает несколько ключевых направлений:

- анализ полётных данных – выявление ошибок экипажа и потенциальных рисков;
- поддержка принятия решений в реальном времени – снижение нагрузки на пилотов во время полёта;

• обучение лётного состава – моделирование нештатных ситуаций и персонализированные тренировки;

• техническое обслуживание воздушных судов – прогнозирование неисправностей и их раннее выявление.

Применение искусственного интеллекта делает эксплуатацию авиационной техники более надёжной и эффективной.

В ходе работы было проведено исследование авиационных происшествий и роли человеческого фактора в их возникновении. Установлено, что он остаётся одной из ключевых причин инцидентов, что подчёркивает необходимость дальнейшего совершенствования мер безопасности. В качестве основных направлений снижения влияния человеческих ошибок выделены внедрение CRM, использование технологий искусственного интеллекта и систем TCAS, которые повышают качество взаимодействия экипажа и позволяют своевременно выявлять и предотвращать риски [6].

Библиографический список

1. Международная организация гражданской авиации. State of Global Aviation Safety: 2025 Report / ICAO. – Монреаль, 2025. – 84 с. – URL : https://www.icao.int/sites/default/files/sp-files/safety/Documents/ICAO_SR_2025.pdf (дата обращения: 14.04.2026). – Текст : электронный.

2. Reason, J. T. Human Error / J. T. Reason. – Cambridge (England): Cambridge University Press, 1990. – 302 с. – Текст : электронный.

3. Межгосударственный авиационный комитет. Отчёты о расследовании авиационных происшествий. – URL : https://mak-iac.org/rassledovaniya/ (дата обращения: 16.04.2026). – Текст : электронный.

4. The Boeing Company. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents: Worldwide Operations 1959–2024 / The Boeing Company. – April 2025. – 33 с. – URL : https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf (дата обращения: 18.04.2026). – Текст : электронный.

5. Федеральное агентство воздушного транспорта (ФАВТ). Анализ и улучшение практики работы группы по обеспечению безопасности на ВПП в сертифицированных аэропортах. – 33 с. – URL : https://favt.gov.ru/public/materials/b/2/6/e/8/b26e8e96cf507e9dda50f1efe80af6ac.pdf (дата обращения: 19.04.2026). – Текст : электронный.

6. Юрченко, В. Внедрение AI в развитии авиации: перспективы и вызовы / В. Юрченко // Вестник науки : международный научный журнал. – 2025. – № 5(86). – Т. 1. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-ai-v-razvitii-aviatsii-perspektivy-i-vyzovy/viewer (дата обращения: 21.04.2026). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Джигерханова Камилла Муслимовна, студентка, ФГБОУ ГА «Московский государственный технический университет гражданской авиации», г. Москва, Россия, dkamilla17@icloud.com ;

Никифорова Лейла Халидовна, к.э.н., доцент кафедры «Экономика и управление на воздушном транспорте», ФГБОУ ГА «Московский государственный технический университет гражданской авиации», г. Москва, Россия, l.nekiforova@mstuca.ru.

Доможирова А. Д.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ КОЛЬЦЕВЫХ МАРШРУТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В статье описывается важность кольцевых маршрутных перевозок, основанная на распределении видов грузов от общего погруженного объема. Приводятся описание особенности данного вида перевозок на Восточном полигоне и их отличие от других дорог, имеющих иную структуру. Рассматривается комплекс причин, влияющих на осуществление кольцевых маршрутных перевозок, одной из которых являются опоздания поездов. Данная и другие причины существенно влияют на выполнение весовой нормы поезда, которая напрямую отражается на эксплуатационном показателе, характеризующем качество выполненной перевозки.

В работе вводится новое понятие планового грузопотока, относительно которого можно анализировать колебания данного показателя в течение исследуемого промежутка времени. Это необходимо для текущего управления, планирования и организации мер, направленных на сокращение потерь из-за недополученного дохода, вызванного снижением грузопотока.

Ключевые слова: кольцевой маршрут, станция погрузки, станция выгрузки, плановая величина грузопотока, кольцевая маршрутная перевозка, массовые грузы, навалочные грузы, плановый грузопоток.

Актуальным вектором развития экономики нашей страны является повышение эффективности функционирования железнодорожного транспорта [1–3]. Основными направлениями для этого являются: совершенствование инфраструктуры, внедрение цифровых и инновацион-

ных технологий, оптимизация логистических цепочек. Последнее подразумевает сокращение сроков доставки грузов, оборота вагона. Одним из способов для достижения этих целей является маршрутизация [4, 5]. Данный вид организации вагонопотоков позволяет существенно сократить их переработку в пути следования. К тому же более половины (57,6 %) от всего объема погрузки приходится на массовые грузы (рис. 1): руды, уголь, сырьевые материалы и др. Для данных видов грузов наиболее подходящей является маршрутная перевозка [6].

Одним из видов данной перевозки является кольцевая, при которой постоянный состав обращается между станциями погрузки и выгрузки. На Восточно-Сибирской железной дороге кольцевые маршруты обращаются между одной станцией погрузки и одной станцией выгрузки. Тогда как, к примеру, на Свердловской железной дороге наличие параллельных ходов и разветвленной структуры позволяет иметь более сложные схемы организации работы кольцевых маршрутов, когда имеется несколько станций погрузки и выгрузки.

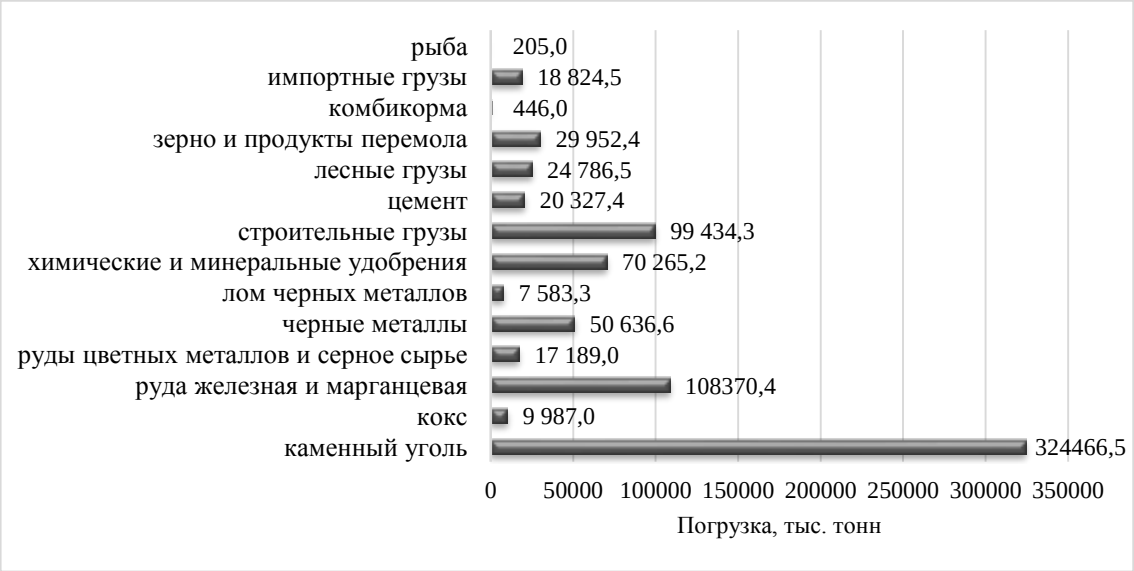


Рис. 1. Объем погрузки грузов на железнодорожном транспорте в 2025 г.

Для организации кольцевых маршрутных перевозок на ВСЖД часто закрепляют за поездами данной категории локомотивы, на графике движения выделяются «твердые нитки», и маршруты курсируют по расписанию. Локомотивные бригады обслуживают полный цикл: отправляются, к примеру, со станции выгрузки до станции погрузки и обратно, далее сдают локомотив новой бригаде. При такой схеме важно соблюдение графика движения данных поездов: маршрут должен не только своевре-

менно прибыть на станцию, должна быть выполнена отцепка локомотива от привезенного состава, перестановка его под готовый к отправлению состав, проведена технологическая обработка поезда и отправление обратно. Но не всегда удается соблюдать технологические нормы обработки, своевременную готовность к отправлению маршрута со станции погрузки или выгрузки, выдерживание времени хода в пути. К этому могут приводить такие причины как неисправность погрузочных средств, загружающих вагоны; отказы грузовых устройств, добывающих сырье для перевозки; неисправности локомотивов; опоздания маршрутов; прочие. Распределение долей данных причин приведено на рис. 2. Перечисленные причины приводят к диспетчерским решениям об отправлении локомотива без вагонов, с меньшим количеством вагонов или вовсе отмене отправления груженого маршрута.

При описанной технологии необходимо поддерживать и сохранять весовую норму поезда, установленную на железнодорожном участке. Но, как было отмечено в работе [7], это не всегда удается, о чем свидетельствуют значительные колебания грузопотока, продвигаемого кольцевыми маршрутами. Из-за причин, приведенных на рис. 2, возникают не только опоздания, но и уменьшения веса кольцевого маршрута, от которого происходит отцепка вагонов, отправление поезда с половиной состава или вовсе отправление локомотива без вагонов.



Рис. 2. Причины снижения грузопотока кольцевых маршрутов

На рис. 3 представлен график оборота состава кольцевого маршрута. В каждых сутках имеется одна пара маршрутов: один порожний и один груженый.

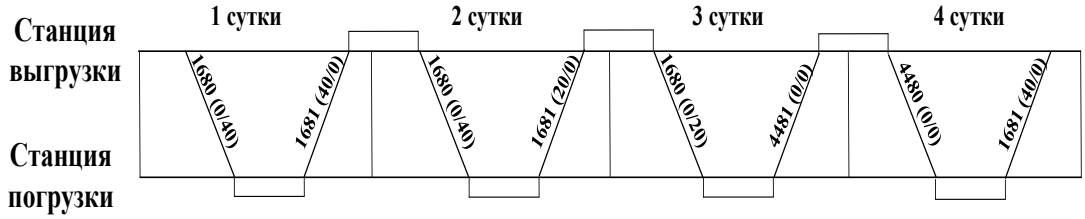


Рис. 3. График оборота кольцевых маршрутов

На рис. 3 представлено несколько сценариев работы кольцевых маршрутов: в первых сутках отправилось 40 порожних вагонов со станции выгрузки и 40 груженых вагонов со станции погрузки. Во 2 сутках отправилось 40 порожних вагонов, но со станции погрузки уехало лишь половина состава. В 3 сутках отправили 20 порожних вагонов, а со станции погрузки локомотив уехал резервом – без вагонов. В 4 сутках со станции погрузки отправился полносоставный кольцевой маршрут. Примем, что полный состав кольцевого маршрута содержит 40 вагонов. Тогда за представленных 4 суток отправилось 100 груженых вагонов, что на 60 вагонов меньше планируемого количества, которое может быть перевезено кольцевыми маршрутами.

Эксплуатационным показателем, которым точнее всего оценить кольцевую маршрутную перевозку является грузопоток. Переход от количества груженых маршрутов или количества вагонов к грузопотоку можно объяснить следующим образом. Отправляемый кольцевой маршрут может состоять из 40 или 35 вагонов. В вагонах оценивать перевозку тоже затруднительно, поскольку грузы преимущественно являются навалочными или насыпными, их загрузка в один и тот же вагон может также отличаться. В связи с чем предлагается ввести новый параметр для кольцевой маршрутной перевозки – плановая величина грузопотока. Плановая величина грузопотока – это установленная весовая норма поезда, умноженная на количество груженых маршрутов. К примеру, если на рассматриваемом участке весовая норма поезда равна 6000 тонн, в сутках 3 груженых кольцевых маршрута, то суточная плановая величина грузопотока равна 18000 тонн.

Кольцевая маршрутная перевозка для массовых грузов является оптимальной. Необходимо ее организовывать в условиях выполнения расписания и поддержания весовой нормы поезда для каждого груженого маршрута. Это особенно важно для кольцевых маршрутных перевозок на Восточном полигоне, которые осуществляются между одной станцией погрузки и одной станцией выгрузки. Стоит учитывать воздействия, снижающие качество данного вида перевозок, поэтому необходимо ана-

лизировать работу кольцевых маршрутов для своевременной корректировки управляемых параметров и минимизации экономических потерь.

Библиографический список

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. – Москва. – Текст : непосредственный.

2. Оленцевич, В. А. Вопросы оптимизации работы транспортно-логистических узлов и комплексов на Восточном полигоне железных дорог / В. А. Оленцевич, Н. П. Асташков, В. С. Брытков // В сборнике : Концептуальные проблемы экономики и управления на транспорте: взгляд в будущее. Труды Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 221–224. – Текст : непосредственный.

3. Царегородцева, Е. Ю. Формирование деловой экосистемы в логистике / Е. Ю. Царегородцева, Д. Д. Джумок // Экономика железных дорог. – 2026. – № 1. – С. 83–92. – Текст : непосредственный.

4. Носков, С. И. Агрегированный критерий оценки эффективности функционирования участков Улан-Баторской железной дороги / С. И. Носков, М. П. Базилевский, Ю. А. Трофимов, А. Буяннэмэх // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 5(39). – С. 159–164. – Текст : непосредственный.

5. Царегородцева, Е. Ю. Инновационные технологии в транспортной системе / Е. Ю. Царегородцева, Н. В. Власова // Экономика железных дорог. – № 4. – С. 39–46. – Текст : непосредственный.

6. Власова, Н. В. Сценарии развития транспортно-логистического бизнес-холдинга «РЖД» с целью выявления рисков и эффективности планирования транспортно-логистических услуг / Н. В. Власова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2025. – № 2(86). – С. 49–60. – Текст : непосредственный.

7. Доможирова, А. Д. Влияние устойчивости функционирования на экономические показатели участка обращения кольцевых маршрутных поездов / А. Д. Доможирова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 3(63). – С. 16. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Доможирова Алёна Дмитриевна, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутская область, г. Иркутск, Россия, zenitALENA@mail.ru.

Дуров Д. В.

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПЛАНИРОВАНИИ МАРШРУТОВ И УПРАВЛЕНИИ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

В статье рассматривается применение искусственного интеллекта при планировании маршрутов и оперативном управлении перевозочным процессом. Показано, что ИИ полезен там, где требуется обработка множества параметров транспортной сети: пропускной способности, времени хода, ограничений инфраструктуры, стоимости, спроса и риска отклонений от графика. Сделан вывод о необходимости сочетания алгоритмических рекомендаций с диспетчерским контролем и проверкой качества исходных данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, транспортная логистика, планирование маршрутов, перевозочный процесс, цифровизация, ИСУЖТ, предиктивная аналитика, железнодорожный транспорт.

Планирование маршрутов в транспортной логистике постепенно усложняется. Перевозчик работает с сетью, в которой меняются спрос, доступность подвижного состава, состояние инфраструктуры, погодные условия, график ремонта, уровень загрузки станций и узких участков. В таких условиях маршрут перестает быть простой линией между пунктами отправления и назначения. Он становится результатом расчета, в котором одновременно учитываются время, стоимость, пропускная способность, технологические ограничения и требования клиента. Именно поэтому искусственный интеллект рассматривается как инструмент поддержки решений в перевозочном процессе.

Проблема состоит в том, что технологические возможности ИИ часто описываются шире, чем позволяют реальные данные и организационная среда транспорта. Алгоритм может быстро предложить вариант маршрута, но качество такого варианта зависит от полноты информации о сети, корректности весов в модели и возможности диспетчера проверить предложенное решение. Поэтому цель статьи – определить, какую функцию ИИ может выполнять при планировании маршрутов и управлении перевозочным процессом, а также установить ограничения его применения. Для достижения цели использованы анализ научной литературы, сопоставление подходов к маршрутизации и обобщение практических задач железнодорожной логистики.

В научной литературе ИИ в транспортной логистике обычно связывается с оптимизацией маршрутов, прогнозированием спроса, анализом больших данных и автоматизацией управленческих решений. Н.З. Арифджанова рассматривает машинное обучение, нейронные сети и генетические алгоритмы как методы, позволяющие строить транспортные маршруты с учетом множества факторов [1]. Такой подход важен для темы статьи, поскольку маршрутизация в реальной сети редко сводится к кратчайшему расстоянию. Для перевозочного процесса существенны время прохождения участка, стоимость, надежность маршрута, риск задержки и доступность инфраструктуры.

Более прикладной уровень анализа представлен в работе Л.Н. Ивановой и С.Е. Иванова. Авторы предлагают многофакторный метод оптимизации маршрутов A* с адаптивной эвристикой и показывают, что графовая модель может учитывать стоимость топлива, время прохождения участка и другие логистические параметры [4]. Из этого следует важный вывод для управления перевозками: ИИ дает наибольший эффект тогда, когда транспортная сеть описана не только географически, но и технологически. Узел графа в такой модели означает не просто точку на карте, а место, в котором имеются ограничения по пропускной способности, переработке грузов, маневровой работе или стыковке с другим видом транспорта.

В железнодорожной сфере эта особенность выражена сильнее, чем в автомобильной логистике. Поезд следует по фиксированной инфраструктуре, зависит от графика движения, наличия локомотивной тяги, состояния пути, работы станций и окон для ремонта. Поэтому ИИ в управлении железнодорожными перевозками должен учитывать не один маршрут, а взаимосвязанную систему маршрутов. Ошибка в одном решении способна повлиять на встречные и попутные поезда, график работы станции, подвод вагонов к грузовым фронтам и выполнение обязательств перед грузоотправителем.

Работы, посвященные ИИ на железнодорожном транспорте, показывают несколько направлений применения таких технологий. М.А. Бочегов и О.В. Медникова связывают применение ИИ с автоматизацией управления поездами, оптимизацией расписаний, предиктивным обслуживанием инфраструктуры и повышением безопасности [2]. Д.Ю. Степаненко отдельно указывает, что ИИ может сокращать время построения маршрута поезда, корректировать сведения о загруженности вагонов, поддерживать составление расписаний и использоваться при анализе технического состояния [3]. Эти выводы позволяют рассматривать ИИ как часть единого управленческого контура, а не как самостоятельный механизм замены диспетчерского управления.

В планировании маршрутов ИИ выполняет три основные функции. Первая функция связана с прогнозом: модель оценивает будущую загрузку участков, ожидаемый спрос, вероятность задержек и потребность в транспортных ресурсах. Вторая функция состоит в расчете вариантов: алгоритм формирует несколько маршрутов с разными значениями времени, стоимости и риска. Третья функция заключается в оперативной корректировке: при сбое, задержке, ремонте или изменении заявки система предлагает диспетчеру новый вариант движения. Такое разделение важно, поскольку каждая функция требует разных данных и разных критериев проверки.

Наиболее очевидная область применения ИИ – построение маршрута с учетом нескольких критериев. В классической схеме расчет часто начинается с минимизации расстояния или времени. Для перевозочного процесса этого недостаточно. Например, короткий маршрут может проходить через перегруженный узел, требовать дополнительной сортировки или создавать конфликт с ремонтным окном. Более длинный маршрут иногда оказывается технологически предпочтительным, если он снижает риск задержки и дает возможность использовать свободные мощности. Именно в таких ситуациях алгоритмический расчет полезен: он быстро проверяет варианты, которые человек мог бы рассматривать последовательно и с большими временными затратами.

Работа Н.Г. Данилочкиной и А.А. Лысенко подтверждает применимость технологий ИИ для оптимизации логистических маршрутов, прежде всего в грузовых перевозках [5]. Вместе с тем результаты таких исследований следует переносить на железнодорожный транспорт осторожно. Автомобильная сеть более гибкая: транспортное средство может сменить дорогу, объехать участок, изменить график остановок. Железнодорожная сеть задает более жесткие правила движения. Поэтому ИИ в железнодорожной логистике должен быть связан с графиком движения, диспетчерскими регламентами и технологией работы станций.

Таблица

Направления применения ИИ в планировании маршрутов и управлении перевозочным процессом

Направление применения	**Данные для модели**	**Управленческий результат**	**Ограничение**
Прогноз загрузки сети	история движения, заявки, сезонность, ремонтные окна	выявление участков риска до возникновения задержки	зависимость от полноты и актуальности данных
Построение маршрута	граф сети, время хода, стоимость, пропускная способность	выбор варианта с учетом нескольких критериев	сложность выбора весов для разных критериев

Окончание Таблицы

Направление применения	**Данные для модели**	**Управленческий результат**	**Ограничение**
Оперативная корректировка графика	фактические задержки, состояние станций, наличие тяги	быстрое формирование альтернативного решения	необходимость диспетчерской проверки
Предиктивное обслуживание	датчики, дефекты, история отказов, условия эксплуатации	снижение вероятности сбоев перевозочного процесса	риск ложных срабатываний и пропусков

Таблица показывает, что ИИ работает не в одной точке перевозочного процесса, а на разных стадиях планирования. При стратегическом и тактическом планировании он помогает определить потребность в ресурсах и оценить нагрузку на сеть. При оперативном управлении его значение связано с быстрым расчетом альтернативных вариантов. При техническом сопровождении перевозок ИИ поддерживает предиктивное обслуживание, поскольку сбой подвижного состава или инфраструктуры часто становится причиной изменения графика и маршрута.

Для железнодорожных перевозок особенно важна связь ИИ с уже существующими информационными системами. В исследовании Л.В. Ермаковой, А.М. Потехиной и А.М. Потехиной ИСУЖТ рассматривается как программная среда, используемая при планировании графика движения поездов, эксплуатационной работе и управлении тяговыми ресурсами [6]. Это позволяет уточнить место ИИ: он должен встраиваться в систему, в которой уже есть нормативные графики, диспетчерские процедуры, данные о состоянии инфраструктуры и правила взаимодействия подразделений. Изолированный алгоритм маршрутизации будет давать ограниченный результат, если его расчеты не связаны с производственными процессами железной дороги.

Отдельный вопрос касается качества данных. Модель может корректно работать только при наличии сопоставимых, проверенных и регулярно обновляемых сведений. Для маршрутизации нужны данные о фактическом времени хода, простоях, пропускной способности, технических ограничениях, стоимости ресурсов и надежности участков. Если система получает неполные сведения, она может выбрать маршрут, который формально выглядит оптимальным, но в реальной эксплуатации создаст дополнительные задержки. Поэтому внедрение ИИ следует начинать с описания данных, их источников, порядка обновления и ответственности за корректность.

Следующее ограничение связано с объяснимостью алгоритмического решения. В транспортной сфере диспетчер отвечает за последствия

выбранного варианта, поэтому рекомендация системы должна быть проверяемой. Недостаточно получить ответ в виде готового маршрута. Пользователь должен видеть, какие факторы повлияли на выбор: загруженность участка, конфликт с другим поездом, ремонтное окно, стоимость тяги, вероятность задержки или ограничения станции. Такой подход согласуется с более широкой задачей классификации и стандартизации систем ИИ, поскольку ГОСТ Р 59277-2020 закрепляет необходимость отнесения конкретных систем ИИ к определенным классам для решения прикладных задач [7].

На наш взгляд, практическая ценность ИИ в перевозочном процессе определяется не скоростью расчета сама по себе, а способностью уменьшить неопределенность управленческого решения. Диспетчер и планировщик получают несколько вариантов, видят последствия каждого из них и могут сопоставить технологическую выгоду с риском. В этом смысле ИИ ближе к системе поддержки принятия решений. Он усиливает расчетную часть управления, но окончательное решение в перевозочном процессе должно оставаться в зоне ответственности человека, особенно при ситуациях, связанных с безопасностью движения.

Кадровый фактор также влияет на результат внедрения. Если работники воспринимают ИИ как внешнюю программу, которая выдает непонятные рекомендации, уровень доверия будет низким. Для применения таких систем требуется обучение пользователей: диспетчеров, инженеров, логистов, специалистов по эксплуатации и аналитиков данных. Обучение должно включать не только порядок работы с интерфейсом, но и понимание пределов алгоритма. Пользователь должен различать расчет, прогноз и управленческое решение.

Для отечественной транспортной системы имеет значение и технологическая независимость. В.Б. Бетелин связывает развитие ИИ с задачами технологического суверенитета, включая научные и вычислительные ограничения таких систем [8]. В перевозочном процессе это означает, что критически значимые алгоритмы маршрутизации, прогнозирования и диспетчерской поддержки должны быть воспроизводимы, проверяемы и сопровождаемы внутри национальной технологической среды. Иначе зависимость от закрытых решений может создать риски для устойчивости транспортной инфраструктуры.

Итак, применение ИИ в планировании маршрутов целесообразно строить поэтапно. Сначала необходимо определить перечень задач, для которых алгоритмический расчет действительно дает преимущество: прогноз загрузки, поиск альтернативного маршрута, перераспределение вагонопотоков, оценка последствий задержки. Затем следует описать

данные и ограничения: какие сведения используются, как часто они обновляются, кто отвечает за их корректность. После этого возможна опытная эксплуатация модели с сопоставлением рекомендаций ИИ и решений диспетчера. Только после такой проверки можно расширять область применения системы.

Проведенное исследование позволяет сделать несколько выводов. ИИ способен повысить качество планирования маршрутов, если транспортная сеть описана как многофакторная технологическая модель. Наибольшая польза связана с обработкой больших массивов данных, прогнозом загрузки, расчетом альтернативных маршрутов и оперативной корректировкой графика. В железнодорожном транспорте ИИ должен применяться с учетом графика движения, пропускной способности, работы станций и требований безопасности. Ограничениями остаются качество данных, объяснимость рекомендаций, ответственность человека за итоговое решение и готовность персонала работать с алгоритмическими подсказками. Следовательно, ИИ в перевозочном процессе следует рассматривать как инструмент повышения обоснованности управленческого решения, а не как самостоятельный субъект управления транспортной системой.

Библиографический список

1. Арифджанова, Н. З. Применение искусственного интеллекта для оптимизации маршрутов транспорта / Н. З. Арифджанова // Universum: технические науки. – 2023. – № 5(110). – С. 119–134. – Текст : непосредственный.

2. Бочегов, М. А. Искусственный интеллект на железной дороге / М. А. Бочегов, О. В. Медникова // Проблемы науки. – 2024. – № 4(85). – С. 7–12. – Текст : непосредственный.

3. Степаненко, Д. Ю. Применение искусственного интеллекта в железнодорожной отрасли / Д. Ю. Степаненко // Научное обозрение. Технические науки. – 2024. – № 5. – С. 19–23. – Текст : непосредственный.

4. Иванова, Л. Н. Методы оптимизации и алгоритм маршрутизации в транспортной логистике / Л. Н. Иванова, С. Е. Иванов // Экономика. Право. Инновации. – 2024. – № 4. – С. 21–29. – Текст : непосредственный.

5. Данилочкина, Н. Г. Оптимизация логистических маршрутов посредством применения технологий искусственного интеллекта / Н. Г. Данилочкина, А. А. Лысенко // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2024. – Т. 246. – № 2. – С. 298–314. – Текст : непосредственный.

6. Ермакова, Л. В. Цифровизация перевозочного процесса на примере функционирования программного обеспечения ИСУЖТ / Л. В. Ермакова, А. М. Потехина, А. М. Потехина // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 2(16). – С. 84–88. – Текст : непосредственный.

7. ГОСТ Р 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. – Москва : Стандартинформ, 2021. – Текст : непосредственный.

8. Бетелин, В. Б. Научные проблемы обеспечения технологического суверенитета в сфере технологий искусственного интеллекта / В. Б. Бетелин // Вестник Российской академии наук. – 2024. – Т. 94. – № 7. – С. 629–634. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Дуров Даниил Владимирович, аспирант, Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация, 99558l@bk.ru.

Евщик П. В., Мясникова О. В.

ИНТЕГРАЦИЯ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И РОБОТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ И НА СКЛАДЕ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

В статье рассматриваются проблемы интеграции автономных систем с производственным и складским оборудованием и роботами. Выделены и описаны физические, информационные и организационные проблемы интеграции. Изолированность и информационная несовместимость систем управления производством, транспортом и складом не позволяет полностью реализовать потенциал автономных транспортных систем. Как наиболее перспективные решения рассмотрены: открытый коммуникационный протокол, обеспечивающий совместимость мобильных роботов разных производителей с автономными транспортными системами и системами управления производственными процессами и складом; централизованные интеграционные платформы, позволяющие связать производственные, транспортные и складские системы в единое информационное пространство; а также технические средства для автоматизированной перегрузки грузов между роботами и стационарным оборудованием.

Ключевые слова: автономные транспортные системы, склад, производство, интеграция, интероперабельность, цифровая платформа.

Современное развитие промышленности характеризуется активным использованием автономных транспортных систем на всех этапах логистической цепи, в частности в складской и производственной логистике. В то же время успешная интеграция нереализуема без понимания различий между автономными и автоматизированными системами, понимания за что отвечает каждая из систем и каким образом системы должны между собой стыковаться.

Автоматизированная система – система, состоящая из комплекса средств автоматизации, который обеспечивает реализацию какой-либо информационной технологии посредством выполнения заранее заданных функций, а также состоящая из персонала, обеспечивающего функционирование данного комплекса. Такие системы следуют заранее обозначенной последовательности действий и требуют предварительной подготовки среды [1]. Наиболее распространенными примерами являются автоматизированные транспортные средства (Automated Guided Vehicles, AGV), которые движутся по проложенной инфраструктуре (магнитным лентам, проводам), а любое отклонение от маршрута выводит транспортное средство из строя.

В свою очередь автономная система – это система, обеспечивающая автономное (то есть самостоятельное, без участия человека), децентрализованное планирование, исполнение, контроль и оптимизацию собственных действий на основе поставленной цели и воспринятой информации окружающей среды [2]. Такие системы самостоятельно принимают решения и адаптируются к изменениям в реальном времени, как, например, автономные мобильные роботы (Autonomous Mobile Robot, AMR), которые составляют карту местности и избегают столкновения с препятствиями без участия человека. На рис. 1 представлена сравнительная характеристика систем в виде схемы.

Описанные автономные транспортные системы активно применяются как в производстве, так и на складе. Их востребованность подтверждают данные отраслевых исследований [3, 4]. И автономные, и автоматизированные транспортные средства управляются специализированной системой управления транспортом (Transportation Management System, TMS).

Помимо этого, в современном производстве и на складе широко применяют:

− гибкие производственные системы (Flexible Manufacturing System, FMS) – автоматизированные комплексы оборудования, которые перенастраиваются под разные типы продукции без остановки и переоснастки по команде управляющей системы (в зависимости от команды человека);

− коботы (коллаборационные роботы) – роботы, которые предназначены для совместной с человеком работы и которые адаптируются к его присутствию, как правило, действуя по заданным алгоритмам.



Рис. 1. Сравнительная характеристика автоматизированных и автономных систем (составлено автором на основе [1], [3])

Важно отметить, что в рамках одного предприятия зачастую организована работа не только одной системы. Несмотря на все преимущества данных технологий, возникает ряд трудностей. Одной из них является проблема стыковки и передачи данных между производством и складом, возникающая независимо от степени автономности. Следовательно, главным показателем эффективной интеграции является согласованность систем управления производственными процессами, складом и транспортом [5].

Данной проблеме уделяют недостаточно внимания, поскольку зачастую производство и склад рассматриваются как независимые системы и автоматизируются раздельно. Однако на деле эти две области не могут быть изолированы и непрерывно обмениваются материальными потоками, передаваемыми через транспорт. Следовательно, ставится цель выявления основных проблем, возникающих при интеграции автономных транспортных систем, применяемых в производстве и на складе, а также требуется проанализировать существующие подходы и средства по их решению.

В результате анализа научных публикаций и практических кейсов внедрения автономных транспортных систем нами выделены три основные группы проблем при взаимодействии автономных транспортных систем и роботизированных средств со складским и производственным оборудованием.

Первая проблема связана с технической несовместимостью оборудования (использование различной транспортной тары, укладки и способов захвата груза). В результате этого автономное транспортное средство не может просто подъехать и передать груз производственному оборудованию. Следовательно, требуется дополнительная операция. В исследовании [6], большое значение придается выбору между ручными (груз забирается оператором), полуавтоматическими (оператор контролирует механизированную передачу) и полностью автоматизированными (состыковка AGV или AMR с производственным оборудованием) вариантами передачи груза. Авторы отмечают, что в условиях средней производительности полуавтоматические решения в комбинации с беспилотными транспортными средствами (AGV и AMR) обеспечивают существенные экономические преимущества, а полная автоматизация оправдана только при высоких объемах производства [6]. Кроме того, проблема усугубляется тем, что роботы в производстве и на складе могут иметь разные типы захватных устройств и разную высоту загрузки.

Для преодоления вышеописанных проблем предлагается ряд соответствующих решений. В последние годы появились подходы, способные на практике решать проблемы интеграции хотя бы частично.

Наиболее перспективным предложением последних лет в области согласованности систем управления стала разработка стандарта VDA 5050. Над стандартом совместно работают немецкая ассоциация автомобильной промышленности (VDA) и союз машиностроителей (VDMA). Стандарт VDA 5050 представляет собой открытый протокол связи между системой управления и мобильными роботами различных производителей [7].

В 2024 г. в рамках AGV Mesh-Up восемь мобильных роботов от различных производителей успешно продемонстрировали совместную работу. Они управлялись единой автономной транспортной системой, которая взяла за основу протокол VDA 5050. В ходе данного эксперимента мобильные роботы свободно обменивались данными, не сталкивались друг с другом и с местностью и рассчитывали оптимальные маршруты в режиме реального времени [8].

Важно отметить, что VDA 5050 работает не как стандарт безопасности, а как стандартизированный коммуникационный интерфейс. Кро-

ме того, его разработка ведется в открытом доступе, что позволяет формировать требования к стандарту на основе практических запросов участников сообщества VDA 5050.

На первый взгляд, применение такого единого коммуникационного протокола для различных систем должно противоречить интересам производителей мобильных роботов, однако VDA 5050 показывает обратный эффект. Производителям становится доступна более широкая клиентская база. Для пользователей же преимуществом является устранение зависимости от одного поставщика. Снижению барьеров для внедрения данного стандарта способствует и наличие открытой эталонной реализации протокола. Библиотека libVDA5050++, разработанная Fraunhofer IML,содержит в себе все нюансы VDA 5050 и позволяет производителю интегрировать стандарт в существующую автономную систему управления транспортом через минимальный интерфейс, тем самым сокращая время разработки проекта интеграции систем [4].

Трудности взаимодействия складских и производственных автономных систем не ограничиваются техническими аспектами, они также включают в себя проблему организации взаимодействия между подразделениями. Зачастую на предприятиях работу производства и склада организуют различные подразделения. Как правило, возникают разногласия в целях различных подразделений: логистическое управление стремится снизить запасы, производственное – максимизировать загрузку оборудования. Это приводит к возникновению противоречивых требований ко всей системе предприятия [9]. Кроме того, крайне необходимо иметь квалифицированные кадры, способные выполнять сложные интеграционные проекты.

Однако гораздо более сложной проблемой является информационная несогласованность систем. На складе управление осуществляется системой управления складом (Warehouse Management System, WMS), на производстве – системой управления производством (Manufacturing Execution System, MES). Обе эти системы, как правило, являются модулями более общей системы планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning, ERP), которая объединяет все бизнес-процессы компании на верхнем уровне управления.

Однако ERP не управляет непосредственно движением роботов между производством и складом. Эту функцию выполняет система управления транспортом – TMS, которая и выступает связующим звеном между WMS и MES. TMS получает от WMS информацию о том, какой груз и с какой ячейки нужно забрать, а от MES – о том, к какому производственному заказу и на какое оборудование этот груз нужно доста-

вить. На основе этих данных TMS формирует задание для роботизированного транспортного средства (AGV или AMR), отслеживает его выполнение и фиксирует факт передачи груза.

Интеграция MES, WMS и TMS требует общего взгляда на ситуацию и умения соответствовать целям предприятия в каждом процессе [10, 11]. На рис. 2 представлена схема взаимодействия систем управления.

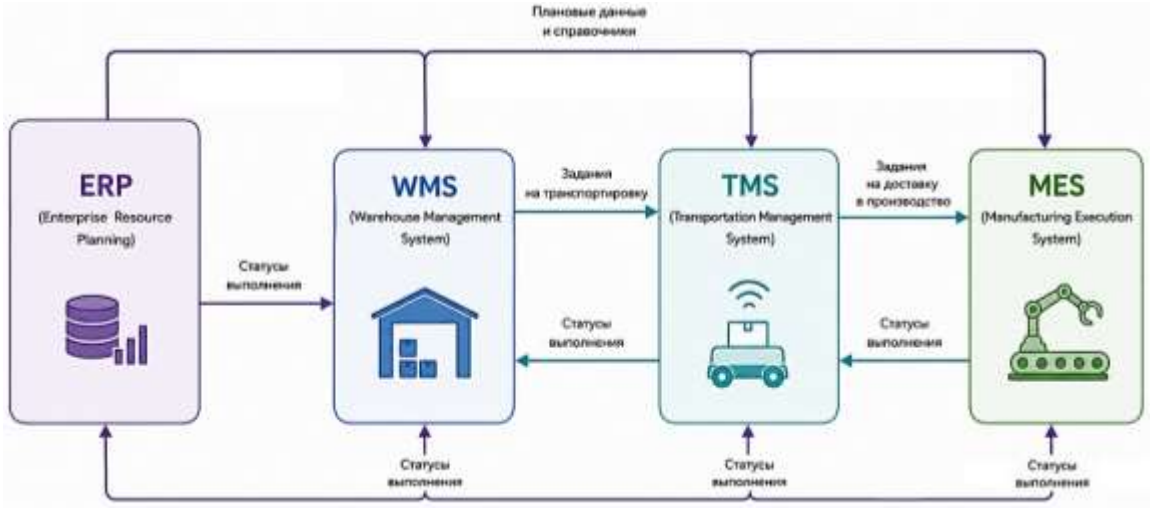


Рис. 2. Взаимодействие систем управления

Без такой трёхзвенной связки (WMS – TMS – MES) возникают нестыковки из-за разной формы учёта объектов. В WMS заложены паллеты и товарные позиции, в MES – детали и производственные заказы. TMS работает с транспортными единицами и переводит информацию из формата одной системы в формат другой. Отсутствие TMS или её несогласованность с WMS и MES приводит к риску потери данных, дублирования операций или отправки автономного транспортного средства с грузом не по назначению [9].

Зачастую компании используют «точечные» соединений между данными системами, работающие через индивидуальные скрипты. Это означает, что для каждой пары систем существует собственный скрипт. Так создается сложная и запутанная архитектура, которая также сложна в обслуживании и при масштабировании становится источником постоянных сбоев [12]. В то же время производители систем не стремятся сделать их изначально согласованными между собой, поскольку каждый производитель стремится продать полное решение, а открытые стандарты, обеспечивающие согласованность систем, разрушают такую бизнес-модель. Это также вызывает проблему, называемую зависимостью от одного поставщика. При этом, как отмечает С. Роджерсон в [13], се-

годня складские комплексы не могут рассматриваться как изолированные системы. Они должны быть связаны со всей системой организации производства, иначе компании теряют координацию и доступность актуальных данных в реальном времени.

Для решения информационной проблемы вместо точечных интеграций возможно использование централизованной интеграционной платформы (iPaaS, Integration Platform as a Service). Вместо прямых соединений между различными системами каждая из систем всего один раз подключается к интеграционной платформе. IPaaS обеспечивает маршрутизацию данных, трансформацию форматов и доставку системам-получателям. Такая архитектура в отличие от архитектуры при точечной интеграции позволяет сократить количество точек отказа, обеспечить централизованный мониторинг и упростить добавление новых систем, что особенно актуально для разнородных систем [12, 14].

Главное требование к интеграции по такому принципу – это обеспечение того, что передача груза будет рассматриваться как одно неделимое событие, которое либо отражается во всех системах (управления производственными процессами, складом и транспортом), либо, при ошибке, не будет изменять данные ни в одной из них. Это устранит такие проблемы как, например, когда материалы и не списаны со склада, и приняты на производство. К тому же применение iPaaS-платформы обеспечивает поддержку различных протоколов: MES обычно использует промышленные стандарты связи, TMS и WMS – отраслевые логистические форматы и протоколы, а корпоративные системы работают через стандартные сетевые интерфейсы [9].

Перспективным направлением является разработка интегрированных решений, которые объединяют производство и хранение. Например, концепция умных решений для комплектации (Smart Kitting Solutions, SINA) была разработана совместно восьмью компаниями и автоматизирует внутреннюю логистику начиная от поступления материалов и заканчивая доставкой скомплектованных наборов на производственные линии по принципу JIT [15].

Инновационные решения также включают автоматизированные перегрузочные станции для паллет. Такие станции позволяют мобильным роботам передавать груз без активного механизма подъема, что снижает стоимость и повышает надежность системы. Например, разработка Fraunhofer IML паллетный AGV с особой конструкцией шасси благодаря кинематике сохраняет контакт всех четырех колес с поверхностью даже на неровных полах, исключая необходимость дорогостоящего выравнивания покрытия [4].

Таким образом, проблема стыковки автономных транспортных систем и роботов в производстве и на складе носит системный характер, объединяя физические, информационные и организационные аспекты. Раздельная автоматизация производства и склада без планирования интеграции снижает общую эффективность системы. Основным решением для обеспечения интеграции на данный момент является внедрение стандарта VDA 5050. Информационная интеграция требует перехода от точечных соединений между WMS, MES и TMS к централизованным интеграционным платформам.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на адаптацию к различным механизмам передачи груза, математическое моделирование стыковочной зоны, применение цифровых двойников и машинного обучения для оптимизации маршрутов AGV и AMR.

Библиографический список

1. Автоматизированная система: обзор главных ГОСТ понятий. – URL : https://babok-school.ru/blog/as-and-gost-concept-model/ (дата обращения: 28.05.2026 г.). – Текст : электронный.
2. Ермаков, А. А. Автономные интралогистические системы: уровни задач и этапы автоматизации / А. А. Ермаков // Актуальные исследования. – 2021. – № 47(74). – С. 19–22. – URL : https://apni.ru/article/3257-avtonomnie-intralogisticheskie-sistemi-urovni (дата обращения: 29.05.2026 г.). – Текст : электронный.
3. Kubasakova, I. Implementation of Automated Guided Vehicles for the Automation of Selected Processes and Elimination of Collisions between Handling Equipment and Humans in the Warehouse / I. Kubasakova, J. Kubanova, D. Benco, D. Kadlecová // Sensors. – 2024. – Vol. 24, № 3. – Art. 1029. – DOI: 10.3390/s24031029. – URL : https://www.mdpi.com/1424-8220/24/3/1029 (дата обращения: 21.04.2026 г.). – Текст : электронный.
4. Albrecht, T. Saying Goodbye to Communication Problems: AGV Mesh-Up – Experience the Interoperability of AGVs Live / T. Albrecht, D. Lünsch // discover LOGISTICS. – 2024. – URL : https://www.iml.fraunhofer.de/en/press-and-media/discover-logistics/ discover-logistics-25/saying-goodbye-to-communication-problems.html (дата обращения: 21.05.2026 г.). – Текст : электронный.
5. Мясникова, О. В. Производственная логистика : учебное пособие / О. В. Мясникова. – Минск : Институт бизнеса БГУ, 2024. – 263 с. – Текст : непосредственный.
6. Faccio, M. AGVs and AMRs in Materials Handling: Integration Challenges in the Design of the Loading/Unloading Points / M. Faccio, I. Granata

// International Journal of Systems Science: Operations & Logistics. – 2025. – Vol. 12, № 1. – DOI: 10.1080/23302674.2025.2510273. – URL : https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23302674.2025.2510273 (дата обращения: 22.04.2026 г.). – Текст : электронный.

7. One Site, Two Fleets, VDA 5050 in the Middle: Jungheinrich's Tailored AGV System Meets Wildeboer's Long-Term Needs. – URL : https://www.kollmorgen.com/ (дата обращения: 21.05.2026 г.). – Текст : электронный.

8. Borchert-al-Huribi, J. The Intralogistics Automation Class Reunion: Four Insights from Four Years of AGV Mesh-Up / J. Borchert-al-Huribi // SYNAOS. – 2024. – URL : https://www.synaos.com/en/blog/four-insights-from-four-years-of-agv-mesh-up (дата обращения: 21.05.2026 г.). – Текст : электронный.

9. Нешин, И. Пять основных проблем при интеграции MES и 1С:ERP. Работа над ошибками / И. Нешин // IT-World. – 2025. – URL : https://www.it-world.ru/view/223706.html (дата обращения: 22.04.2026 г.). – Текст : электронный.

10. Мясникова, О. В. Цифровая трансформация производства и логистики Республики Беларусь: от производственных систем к интеллектуальным производственно-логистическим экосистемам Индустрии 6.0 / О. В. Мясникова // Экономика стран СНГ в условиях цифровой трансформации : монография / Г. Ж. Аллаева, Г. Н. Махмудова, М. А. Восканян [и др.] ; под редакцией А. В. Бабкина. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2025. – С. 98–121. – DOI: 10.18720/IEP/2025.4/6. – Текст : электронный.

11. Мясникова, О. В. Инфраструктурные и организационные решения Логистики 6.0 для сквозного управления и повышения качества процессов цепей поставок / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика : сборник научных статей. – Минск : Институт бизнеса БГУ, 2025. – Вып. 12. – С. 109–118. – Текст : непосредственный.

12. Why ERP Integrations Break at Scale (And How Native Functionality Prevents It). – URL : https://bizowie.com/why-erp-integrations-break-at-scale-and-how-native-functionality-prevents-it (дата обращения: 22.04.2026 г.). – Текст : электронный.

13. Rogerson, S. Fragmented Warehouse Systems Undermine Supply Chains / S. Rogerson // IoT M2M Council. 08.04.2026. – URL : https://iotm2mcouncil.org/iot-library/news/smart-logistics-news/fragmented-warehouse-systems-undermine-supply-chains/ (дата обращения: 21.05.2026 г.). – Текст : электронный.

14. A Better Way to Manage Integrations. – URL : https://ipaas.com/platform/ (дата обращения: 21.05.2026 г.). – Текст : электронный.

15. Schilling D. Vollautomatisch Kommissionieren: Acht große Unternehmen aus Logistik und Robotik haben gemeinsam eine vollautomatische Kommissionierlösung entwickelt // Produktion. 20.10.2021. – URL : https://www.industrial-production.de/transportsysteme/vollautomatisch-kommissionieren.htm (дата обращения: 21.05.2026 г.). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Евщик Полина Витальевна, студентка 3-го курса специальности «Транспортная логистика», кафедра «Экономика и логистика имени члена-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, доктора экономических наук, профессора Р. Б. Ивутя», Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, evshik.polina@gmail.com ;

Мясникова Ольга Вячеславовна, к.э.н., доцент, заведующий кафедрой «Экономика и логистика имени члена-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, доктора экономических наук, профессора Р. Б. Ивутя», Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, miasnikovaov1@gmail.com.

Зубков В. В., Раевская П. Е., Раевский Н. В.

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КРУПНОТОННАЖНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

В докладе рассмотрен инновационный способ создания и применения ИТ-платформы для идентификации крупнотоннажных контейнеров на примере международной транспортно-логистической компании АО «Евросиб СПб-ТС», осуществляющей транспортно-экспедиционное обслуживание в сегменте международных мультимодальных перевозок. Представлена архитектура ИТ-платформы для идентификации крупнотоннажных контейнеров, которая включает в себя систему для организации мультимодальных перевозок, электронный сервис «Клиент-Евросиб». ИТ-платформа обеспечивает комплексное регулирование и развитие корреспонденций грузов с использование различных видов транспорта и повышает уровень клиентоориентированности компании.

Ключевые слова: ИТ-платформа, мультимодальная перевозка, модуль, электронный сервис, виды транспорта, система.

Данная работа является продолжением научно-практического исследования, так в [1] рассмотрена методология построения системы для планирования и организации мультимодальных перевозок при создании которой был применим объектно-ориентированный вид развития, включающий принципы системности, совместимости, унификации. В этом докладе представлен инновационный способ создания и применения ИТ-платформы для идентификации крупнотоннажных контейнеров на примере международной транспортно-логистической компании АО «Евросиб СПб-ТС», осуществляющей транспортно-экспедиционное обслуживание в сегменте международных мультимодальных перевозок. Архитектура ИТ-платформы для идентификации крупнотоннажных контейнеров (*рис. 1*), включает в себя систему для организации мультимодальных перевозок, которая состоит из устройства моделирования, устройства анализа и вычисления, АРМ диспетчера для организации мультимодальных перевозок, модуля «Единая панель управления контейнеропотоками». Также в систему входит электронный сервис «Клиент-Евросиб» сформированный из интерфейса пользователя, модуля контроля исполнения, модуля автоматического формирования уведомлений, модуля нормативно-правовой документации, модуля электронного документооборота и модуля технической поддержки.

В развитие системы для организации мультимодальных перевозок [2] введен модуль «Единая панель управления контейнеропотоками» функциональность которого заключается в следующем:

– идентификация крупнотоннажных контейнеров (номер, собственность, технические характеристики);

– статус крупнотоннажных контейнеров (отображение в процессе логистики на каждой технологической операции);

– временные параметры технологических операций.

Данный модуль позволяет контролировать транспортно-логистический процесс перевозки крупнотоннажных контейнеров на всех этапах логистики, в том числе на основе фактической реализации доставки контейнеров обеспечивается возможность заблаговременной корректировки планов корреспонденций всех объектов, участвующих в транспортно-логистическом маршруте [3].

Визуализация модуля «Единая панель управления контейнеропотоками» – логистика и параметры выполнения представлена на рис. 2-3.

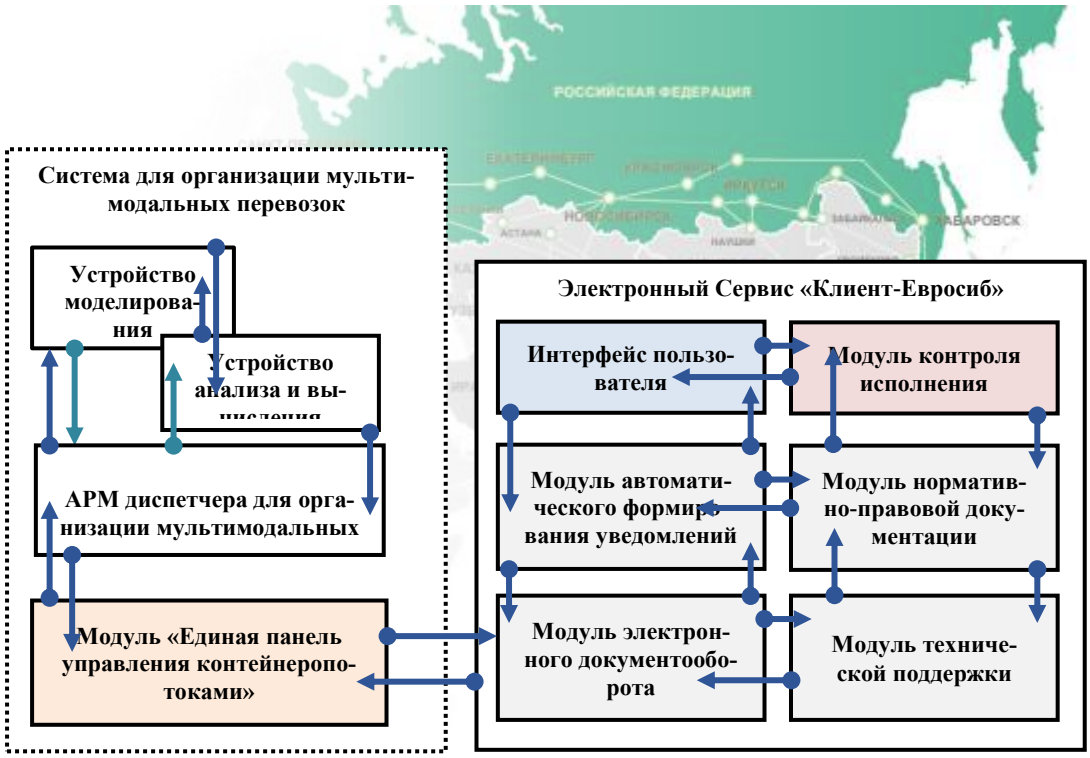


Рис. 1. Архитектура ИТ-платформы
для идентификации крупнотоннажных контейнеров

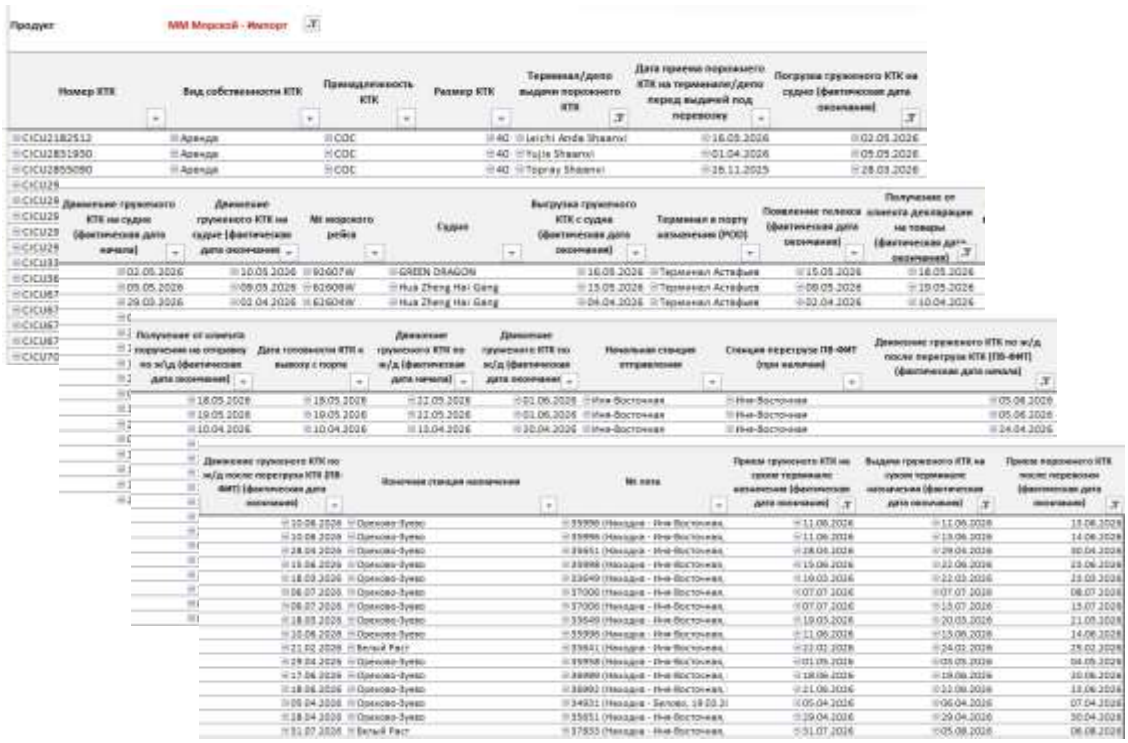


Рис. 2. Система для организации мультимодальных перевозок
(Модуль «Единая панель управления контейнеропотоками» – логистика)

Выдача КТК в Китае (хранение, затарка, погрузка, отпр. на судне)	Продолжительность морского плеча (в движении)	Выгрузка КТК из судна	Таможенное оформление и хранение в порту	Ожидание отправки по жд (от готовности до отпр. по жд)
47	8	6	2	4
34	4	4	6	3
123	4	2	6	3
42	3	5	4	6
56	8	4	2	10

Движение по жд до ст. перегруза	Сроки перегруза КТК	Движение по жд со ст. перегруза до ст. назначения	Движение по жд от ст. отправления до ст. назначения (прямое)	Выдача груженого КТК на терм. прибытия (вывоз груж)	Сдача порожнего КТК на терминал назначения	TEU
10	4	5	10	1	1	2
10	4	5	10	2	1	2
7	4	4	7	1	1	2
9	7	5	9	7	1	2
8	14	3	8	3	1	2
9	3	4	9	0	1	2
9	3	4	9	6	0	2
8	14	3	8	1	1	2
10	4	5	10	2	1	2
7	4	4	7	2	1	2
8	6	4	8	2	1	2
9	3	4	9	1	1	2
8	3	4	8	1	1	2
10	3	4	10	1	1	2
7	4	4	7	0	1	2
13	2	5	13	5	1	2

Рис. 3. Система для организации мультимодальных перевозок (Модуль «Единая панель управления контейнеропотоками» – параметры выполнения)

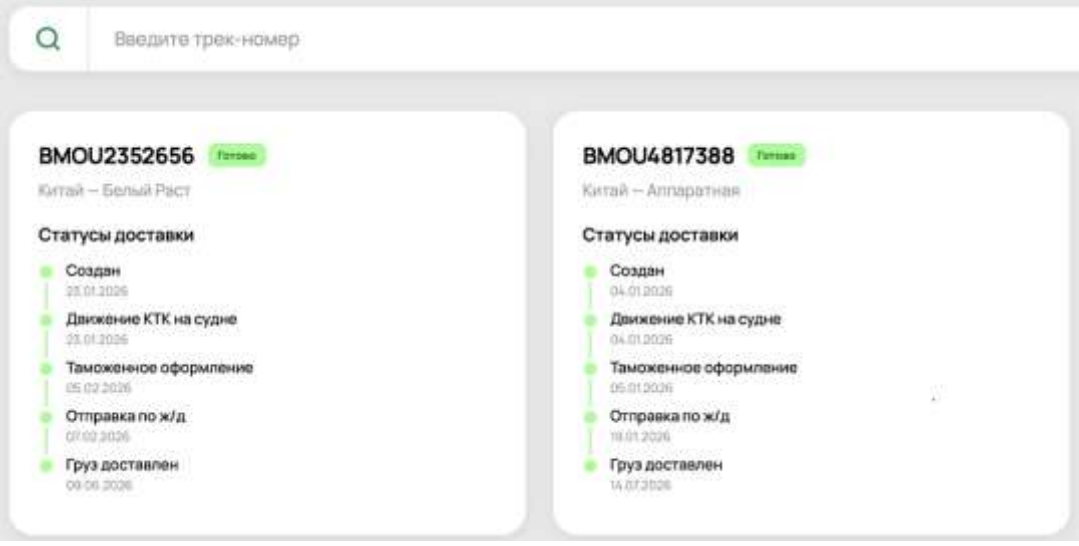


Рис. 4. Электронный сервис «Клиент-Евросиб» – информирование

Для повышения клиентоориентированности компании, в системе осуществлено построение электронного сервиса «Клиент-Евросиб», информационные потоки которого интегрируются с модулем «Единая па-

нель управления контейнеропотоками». Основная функция данного сервиса заключается в информировании клиентов компании о реализации процесса оказания транспортно-экспедиционного обслуживания и перевод финансово-правовых взаимодействий между компанией и клиентами на электронные носители информации (электронный документооборот) [4, 5].

Визуализация электронного сервиса «Клиент-Евросиб» представлена на рис. 4-5.

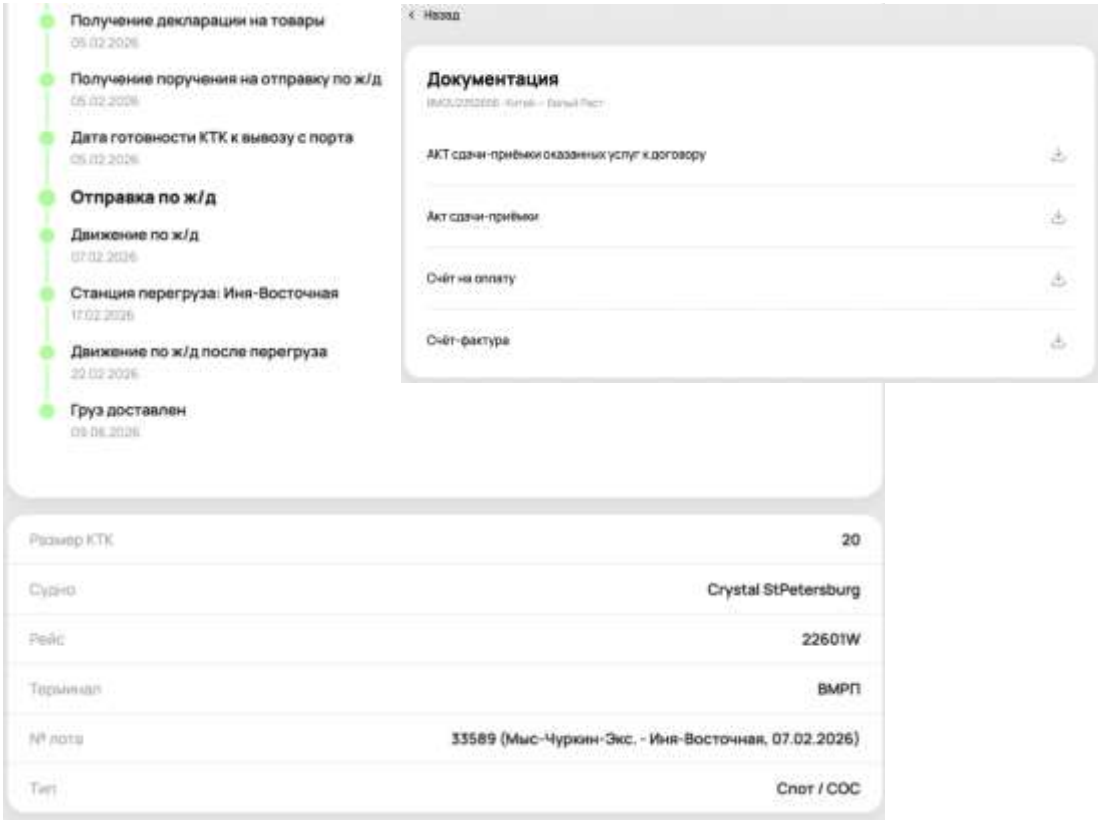


Рис. 5. Электронный сервис «Клиент-Евросиб» – электронный документооборот

Развитие и совершенствование информационных продуктов в транспортно-логистическом комплексе обеспечивает комплексное регулирование и развитие корреспонденций грузов с использование различных видов транспорта и повышает уровень клиентоориентированности компаний.

Библиографический список

1. Зубков, В. В. Методология построения системы для планирования и организации мультимодальных перевозок / В. В. Зубков, П. Е. Ра-

евская, Н. В. Раевский // Образование – Наука – Производство : материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, 21 ноября 2025 г. – Чита : ЗабИЖТ ИрГУПС, 2025. – Т. 2. – 601 с. – С. 554–558. – Текст : непосредственный.

2. Патент 2864165 Российская Федерация. Система для организации мультимодальных перевозок: № 2025134499: заявл. 05.12.2025: опубл. 18.06.2026 / Л. Н. Чернокозинский, В. А. Новиков, А. Л. Смирнов [и др.] : заявитель АО «Евросиб СПб-транспортные системы» – Текст : непосредственный.

3. Зубков, В. В. Применение экономико-математической модели при формировании оптимального варианта оптимизации транспортно-логистического процесса / В. В. Зубков, Н. Ф. Сирина, П. Е. Раевская // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2(53). – С. 30–36. – Текст : непосредственный.

4. Галкин, А. Г. Методологические основы формирования транспортно-информационного пространства / А. Г. Галкин, В. В. Зубков, Н. Ф. Сирина // Вестник УрГУПС. – № 1(45). – 2020. – С. 82–92. – DOI: 10.20291/2079-0392-2020-1-82-92. – Текст : непосредственный.

5. Мережникова, М. А. Цифровая трансформация – новый этап инноваций ОАО «РЖД» / М. А. Мережникова // В сборнике: Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики : материалы Международной научно-методической конференции, Оренбургский институт путей сообщения. – Оренбург, 2021. – С. 129–133. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Зубков Валерий Валерьевич, д.т.н., доцент Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Чита, zubkovvv1973@gmail.com ;

Раевская Полина Евгеньевна, к.т.н., старший преподаватель Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Чита, polina.volo@mail.ru ;

Раевский Николай Владимирович, к.т.н., доцент Читинского института (филиал) ФГБОУ ВО Байкальский государственный университет, г. Чита, raevskiy_nik@mail.ru.

Ковалева Н. М., Бойко М. Ю.

ТАМОЖЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ЗАБАЙКАЛЬЕ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ

В статье уделяется особое внимание аспектам формирования и развития таможенной деятельности в Забайкалье.

Таможенная деятельность в Забайкалье своим развитием обусловлена рядом факторов: историческим, геополитическим, экономическим, представляет собой уникальный исторический феномен, неразрывно связанный с освоением восточных рубежей России и многовековой историей российско-китайских отношений.

Зарождение таможенных институтов в регионе относится к первой четверти XVIII века, когда после подписания Буринского (1727 г.) и Кяхтинского договоров. Договорная деятельность явилась началом международных отношений и экономическому сотрудничеству между Россией и Китаем.

Большую роль в таможенной деятельности сыграли Забайкальские казаки. Возникнув как сообщество вольных воинов, казачество со временем трансформировалось в мощную военную силу, добровольно взявшую на себя обязательства по защите государства. Их функции включали: охрана рубежей, борьба с контрабандой, обеспечение пропускного режима.

Современный этап характеризуется определяющей ролью Читинской таможни, в зону ответственности которой входит более 1900 км границы с Китаем и Монголией, а также восемь пунктов пропуска, включая крупнейший сухопутный транспортный узел в Забайкальске.

*Ключевые слова: таможенная деятельность, договор, Маньчжурская таможенная застава Буринский договор**,** Кяхтинский договор, пограничная служба, Забайкальское казачество, Государственная граница.*

Таможенная деятельность – это строго регламентированный процесс взаимодействия бизнеса и государства для контроля законности перемещения грузов через границу.

Таможенная деятельность в Забайкалье своим развитием обусловлена рядом факторов: историческим, геополитическим, экономическим.

Забайкальский край очень сложный регион с точки зрения геополитического положения. Большая протяженность государственных границ с двумя государствами (Китай и Монголия, транзитное положение с Центром страны и Восточной частью России, соседское положение с субъек-

тами РФ Иркутская область, Республика Бурятия, Амурская область, Республика Саха, общая протяженность границ составляет около 5000 км.

Исторический контекст обусловлен, прежде всего взаимоотношениями с таким соседом как Китай. Конечно же, эти взаимоотношения были закреплены договорными отношениями.

После подписания Буриинского и Кяхтинского договоров с Китаем начала развиваться приграничная торговля, что потребовало создания первых таможенных учреждений. Именно эти соглашения положили начало торговле как одной из форм экономических отношений и началу зарождения таможенного дела в регионе.(18 век).

Буринский договор определил место для будущей торговли. Этот трактат, подписанный 20 августа 1727 г., установил границу между двумя империями от Аргуни до Саянского хребта. Важно, что он содержал ключевое положение: на участке у реки Кяхты, на только что разделенной земле, стороны договорились устроить место для пограничной торговли. Это решение стало отправной точкой для создания торгового центра.

Кяхтинский договор легализовал беспошлинную торговлю**.** Был подписан 21 октября 1727 г., который стал основой российско-китайских отношений почти на 130 лет. Для таможенного дела главным в нем было открытие беспошлинной пограничной торговли в Кяхте и Цурухайтуе. Это привело к стремительному развитию Кяхты как главного торгового центра, где русские купцы меняли пушнину, сукно и юфть на китайский чай и другие товары.

В дальнейшем Кяхтинская таможня стала одной из ключевых в регионе, а к началу XX в. действовала уже целая сеть таможенных постов и застав.

Несомненно, вся эта договорная деятельность повлекла за собой создание политических и экономических условий, благодаря которым через несколько десятилетий в регионе сформировалась полноценная таможенная инфраструктура. Эти соглашения не только установили границу, но и заложили основу для организации пограничной торговли и таможенной службы.

В 1891 г. с образованием Забайкальской области таможенная служба приобретает более организованную форму. В марте 1902 г. происходит открытие Маньчжурской таможенной заставы.

Маньчжурская таможенная застава – это российское таможенное учреждение, существовавшее в начале XX в. на станции Маньчжурия Китайско-Восточной железной дороги (КВЖД), у границы с Забайкальем. Оно стало важным звеном в системе таможенного контроля на русско-китайской границе. Основная цель учреждения заставы это органи-

зация таможенного надзора на стыке российской Забайкальской железной дороги и КВЖД.

Начало работы заставы 14 марта 1902 г. Изначально штат был небольшим: управляющий, два его помощника, 6 досмотрщиков и 2 канцелярских чиновника.

Из-за стремительного роста грузопотока по железной дороге стало очевидно, что статус заставы не соответствует масштабу работы, в результате было проведено преобразование. 12 июня 1902 г. Государственный совет принял решение о преобразовании заставы в Маньчжурскую таможню 1-го класса.

Фактически таможня начала полноценную работу 26 октября 1902 г., когда был издан первый приказ по новой структуре, а штат был полностью укомплектован, в т. ч. чиновниками из Владивостока и центральной России.

Таким образом, Маньчжурская таможенная застава была временным, но необходимым этапом на пути к созданию полноценной таможни, которая играла ключевую роль в товарообороте между Россией и Китаем.

К началу XX в. в регионе сложилась разветвленная сеть таможенных учреждений, включавшая таможни в Сретенске, Маньчжурии и Кяхте, а также многочисленные заставы и посты на границах с Монголией и Маньчжурией.

Крупнейшим торговым центром Забайкалья явился город Нерчинск. В 1689 г. был подписан Нерчинский договор, основная суть которого заключалась в регулировании торговли с Китаем. Договор был заключен по итогам военных столкновений в Приамурье (в первую очередь – осады Албазина) и установил границу между двумя государствами на востоке.

Этот договор завершил русско-цинский конфликт 1680-х гг. Условия оказались неблагоприятными для России: она была вынуждена уступить бассейн Амура, осуществить перенос Албазинского острога-крепости. Текст договора составлялся на латинском, русском и маньчжурском языках. Именно латинская версия считалась эталонной при возникновении споров, так как ни одна из сторон не признавала язык другой в качестве основного.

В роли переводчиков на переговорах выступали католические миссионеры-иезуиты, состоявшие при дворе императора Канси.

1851 год ознаменовался образованием Забайкальской области, в это время начинают функционировать таможенные службы Читинского региона, открываются посты, таможенные заставы. Забайкальская таможня на тот момент была самой крупнейшей таможней.

Читинское таможенное Инспекторство имело в своем составе структурные подразделения – посты, заставы. Одной из крупнейших была Маньчжурская таможня. Именно она считалась изначально родоначальницей Забайкальской таможни, однако ряд исследований документов и библиографических данных позволили сделать вывод о том, что у Забайкальской таможни длинный путь развития.

На Законе об учреждении местного таможенного правления от 28.05.1912 г. создается Читинский инспекторский таможенный участок. Сохранились архивные данные – описи таможенных учреждений, списки сотрудников, служебные переписки. Сохранилось в Чите и здание таможни тех лет по адресу ул. Бутина, д. 1, это трехэтажное здание у выхода с вокзала , с левой стороны привокзальной площади.

В начале столетия деятельность Читинской таможни находилась в активном развитии. В ее ведении находилась, прежде всего, граница с Китаем в пределах Забайкальской области с включением в состав Маньчжурской таможни. Читинский инспекторский таможенный участок в своем составе имел 2 таможни, 4 заставы, 37 таможенных постов. Станция Мациевская – 86 разъезд, была ближайшей со стороны России до Маньчжурии. После 1917 года был утвержден Мациевский таможенный пост, входивший в Читинский таможенный участок Забайкальской железной дороги.

В период с 1929 по 1931 гг. Мациевский таможенный пост – 86 разъезд был преобразован в Мациевскую таможню, ее статус стал самостоятельным. Она была включена в список таможенных учреждений СССР по Дальневосточному отделению Главного таможенного управления, зафиксированного в Таможенном кодексе СССР 1931 года. Мациевская таможня была включена в список таможенных учреждений СССР одновременно с Отпоровской до 1933 года.

Приказом Министерства внешней торговли от 21.11.1958 г. Отпоровская таможня была переименована в Забайкальскую таможню. С этого момента начинается современный этап истории Забайкальской таможни.

Большую роль в защите рубежей Отечества принадлежит казачеству.

Именно оно стало основополагающей таможенной деятельности Забайкалья на то время.

Казачество началось задолго до создания формальных таможенных учреждений и по сути представляло собой вооруженную охрану границы и контроль за торговлей, что являлось главной задачей таможенного дела того времени. Казачество сыграло многогранную и исключительную роль в защите и расширении рубежей Российского государства на протяжении нескольких столетий.

Возникнув как сообщество вольных воинов, казачество со временем трансформировалось в мощную военную силу, добровольно взявшую на себя обязательства по защите государства.

Основной обязанностью забайкальских казаков была пограничная служба, которая фактически исполнялась с конца XVII в. и была юридически закреплена после утверждения границы с Китаем в 1728 г.

Функции казаков включали:

Охрану рубежей: казаки охраняли границу, следили за исправностью пограничных знаков ("маяков") и не допускали незаконных переходов.

Борьбу с контрабандой: в их обязанности входил контроль за русско-китайской торговлей в официальных пунктах (Кяхта, Цурухайтуй) и пресечение торговли в других местах. Контрабандистов надлежало ловить и передавать властям.

Обеспечение пропускного режима: для идентификации и пропуска через границу использовались специальные деревянные "пропуска" (бирки), которые были разделены на две половины.

Таким образом, Забайкальское казачество было не просто пограничным войском, а фактически первым и основным институтом таможенного контроля в регионе на протяжении XVIII–XIX вв., обеспечивая безопасность и регулирование.

Современная история Читинской таможни начинается в 50-е гг. 20-го столетия. В Чите открывается таможенный пост, а в 1952 г. в связи с расширением международных связей с Китаем открывается Читинская таможня, она просуществовала до июня 1959 г. Свою деятельность эта служба начинает свою деятельность в июне 1969 г., когда организуется Читинский таможенный пост, который подчиняется Забайкальской таможне.

Таможенный пост имел особенность – он занимался оформлением военно-транспортных самолетов, выполнявших рейсы в Монголию, воинских грузов, багажа граждан. Аэропорт Кадала был запасным по отношению к Хабаровску и Иркутску, поэтому здесь оформлялись также международные рейсы из Японии, Монголии, Кореи.

25 июня 1985 г. приказом Министерства Внешней торговли СССР № 309 Читинский таможенный пост Забайкальской таможни был преобразован в Читинскую таможню, это явилось официальной датой образования.

В этот период основной деятельностью таможни является таможенное оформление грузов и контроль. В этот период основной деятельностью являлось таможенное оформление грузов и контроль воен-

но-транспортных и специальных самолетов, совершающих регулярные рейсы в МНР, оформление багажа и ручной клади граждан, перемещаемых автотранспортом и в контейнерах.

Большой объем работы, которую выполняла таможня, был внушительным.

На аэродроме «Черемушки» было оформлено 910 воздушных судов, 600 тонн грузов, через таможню прошли 37 597 лиц всех категорий, имевших при себе 56 443 места ручной клади. На станции Чита-1 досмотрено 985 контейнеров и 165 мест отдельно следующего багажа на станции Чита-2.

Либерализация внешнеэкономической деятельности в стране повлекла за собой реформирование таможенной системы. Не обошли реформы и Читинскую таможню. К октябрю 1991 г. произошел количественный рост штатной численности: в таможне трудилось уже 20 человек.

В этот период таможня осуществляла деятельность по таможенному оформлению и контролю военно-транспортных и специальных самолетов, совершающих регулярные рейсы в МНР, а также багажа и ручной клади граждан, перемещаемых автотранспортом и в контейнерах.

На начало 1993 года в Читинской таможне трудится 43 человека.

Создаются новые структурные подразделения, службы.

В 1995 г. таможней приобретено помещение базы, где размещается в настоящее время Читинский таможенный пост. В 1996 г. было приобретено административное здание таможни по адресу: г. Чита, ул. Чкалова, 129.

В 2004 г. в структуре Читинской таможни был открыт Читинский таможенный пост. С его развитием резко возросли объемы оформляемых грузов, повысились суммы таможенных платежей, перечисляемых в федеральный бюджет.

Современный этап Забайкальской таможни характеризуется рядом этапов развития.

Ключевым событием новейшей истории стало объединение двух таможен. 30 сентября 2011 г. вступил в силу приказ ФТС России, согласно которому Забайкальская таможня была присоединена к Читинской. В результате этого Читинская таможня стала крупнейшей в Сибирском таможенном управлении.

Сегодня в структуру таможни входят многочисленные отделы и таможенные посты, включая крупные пункты пропуска в Забайкальске. Среди ее приоритетных задач – контроль за вывозом лесоматериалов, пресечение контрабанды наркотиков, золота и контрафактной продукции.

В 2020 г. таможня создала постоянную зону таможенного контроля для обеспечения крупных инвестиционных проектов, таких как строительство комбината.

В 2011 г. была проведена реорганизация – Забайкальская и Читинская таможни были соединены. Цель данной реорганизации – это прежде всего оптимизация количества таможенных органов, расположенных в Сибирском Федеральном округе.

В результате объединения в подчинении Читинской таможни теперь находятся 12 таможенных постов: Читинский, Агинский, Петровск-Забайкальский, ДАПП Верхний Ульхун, Приаргунский, ДАПП Олочи, Соловьевск, Борзинский, ДАПП Староцурухайтуйский, МАПП Забайкальск, ЖДПП Забайкальск, Забайкальский таможенный пост, который создан в структуре Читинской таможни.

Таким образом, Таможенная деятельность в Забайкалье пережила значительный период развития, начиная от подписания договорных отношений в 1727 г. до наших дней. Внося особую лепту в экономику региона, она имеет важное стратегическое значение.

Значительный рост внешнеторгового оборота и переориентация логистических потоков на азиатские рынки обусловили рекордные показатели деятельности таможни: в 2025 г. федеральный бюджет пополнился на 4,4 млрд рублей, а грузооборот через МАПП Забайкальск в первом полугодии 2026 года увеличился на 30,8 %. Приоритетами современной таможенной политики являются ускорение процедур за счет внедрения технологий, борьба с контрабандой и контрафактом, а также обеспечение экономической безопасности страны, что свидетельствует о преемственности задач – от фискальной функции и защиты национальных производителей в прошлом до стратегического обеспечения внешнеэкономических интересов государства сегодня.

Таким образом, Таможенная деятельность в Забайкальском крае имеет историческое развитие и играет колоссальную роль в экономическом развитии региона.

Библиографический список

1. Гениатулин, Р. Ф. Малая энциклопедия Забайкалья. В 2-х частях / Рос. акад. образования [и др.] ; гл. ред. : Р. Ф. Гениатулин. – Новосибирск : Наука, 2009; 25. – ISBN 978-5-02-032169-4. – Текст : непосредственный.

2. Казанцева, Н. Г. История таможенного дела Забайкалья / Н. Г. Казанцева ; Забайкальский государственный университет ; Забайкальский государственный университет (Чита). – Чита : Издательство Забайкаль-

ского университета, 2018. – 265 с. : ил., табл. – Библиогр. : с. 214–233. – Приложения : с. 234–265. – ISBN 9785929322921. – Текст: непосредственный.

3. Смирнов, Н. Н. Слово о забайкальских казаках : исторический очерк-хроника. – Волгоград : Комитет по печати, 1994. – 508 с. : ил. – ISBN 5-0071-62. – Текст: непосредственный.

4. Монографии : А. С. Зуев, «Русское казачество Забайкалья во второй четверти XVIII – первой половине XIX вв.» (Новосибирск, 1994). – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Ковалева Наталья Михайловна, канд. геогр. наук, доцент кафедры «Управление процессами перевозок» Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, Everest2011@yandex.ru ;

Бойко Марина Юрьевна, главный инспектор по связи с общественностью, пресс-секретарь Читинской таможни Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Коновалова М. И., Дружин С. В., Ринчиндоржиев Н. Б.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА УЧАСТКЕ БЕЛОГОРСК – СКОВОРОДИНО

В статье представлено обоснование вариантов развития сортировочной системы на участке Белогорск – Сковородино и выбор оптимального варианта, позволяющего сбалансировать встречные вагонопотоки. Задачами исследования являются: анализ современного состояния и загрузки сортировочных устройств на участке Белогорск – Сковородино; прогноз перспективных объемов переработки вагонов; анализ вариативности увеличения сортировочных мощностей: новое строительство на участковой станции Шимановская или развитие станции Белогорск-2; разработка принципиальных схем и проектных решений для каждого варианта; технико-экономическое сравнение вариантов.

Ключевые слова: Восточный полигон; сортировочная инфраструктура; груженые, порожние вагонопотоки; задержки поездов; график

движения поездов; участок Белогорск – Сковородино; станция Шимановская; нарушение плана формирования поездов; горка малой мощности; суточный план-график; качественные показатели; перерабатывающая способность; минимальные инвестиции; экономический эффект; срок окупаемости.

Восточный полигон РЖД – главная артерия, связывающая внутренние регионы с портами Дальнего Востока. За последние годы объёмы перевозок по этому направлению выросли многократно. Однако рост грузопотока не сопровождался востребованным развитием сортировочной инфраструктуры. Особенно остро это ощущается на участке Белогорск – Сковородино, где сходятся потоки гружёных составов, которые следуют в сторону портов и порожних вагонов, возвращающихся на запад (рис. 1).

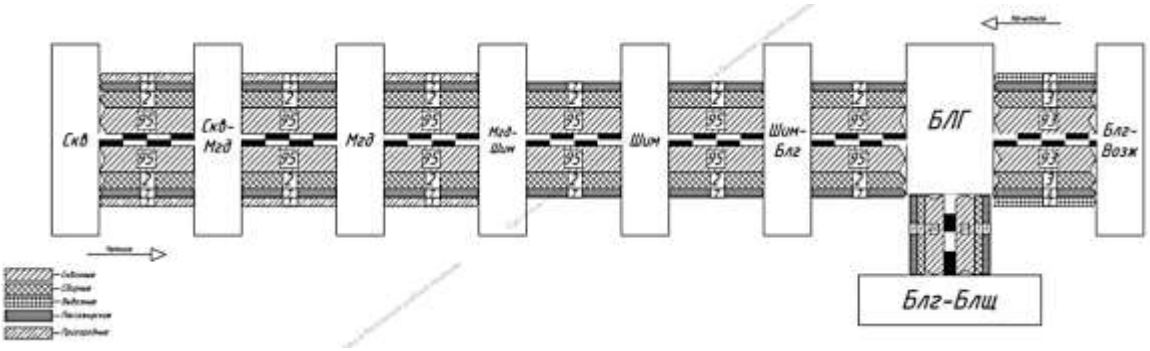


Рис. 1. Диаграмма поездопотоков на участке

Существующие станции не справляются с сортировкой встречных потоков. Это приводит к заторам, срыву графика движения поездов, нерациональным простоям и вынужденной переадресации порожняка на удалённые узлы, такие как Хабаровск-2. Проблема заключается в диспропорции между интенсивностью вагонопотоков как гружёных, так и порожних, ограниченной перерабатывающей способностью существующих сортировочных устройств на участке. Следствием этого являются систематические задержки поездов, увеличение эксплуатационных затрат и снижение надёжности перевозок.

Данные исследования направлены на обоснование вариантов развития сортировочной системы на участке Белогорск – Сковородино и выбор оптимального варианта, позволяющего сбалансировать встречные вагонопотоки.

Для получения результатов исследования были поставлены следующие задачи: проанализировать существующее станционное состояния

и оценить перерабатывающую способность сортировочных устройств на участке Белогорск – Сковородино; спрогнозировать рост объемов переработки вагонов на перспективу; провести анализ вариативности увеличения сортировочных мощностей в части развития сортировки на участковой станции Шимановская или наращивание сортировочной инфраструктуры на станции Белогорск-2; разработка проектных решений и принципиальных схем для каждого варианта; технико-экономическое сравнение вариантов развития сортировочных устройств.

На станции Белогорск уже имеется сортировочно-отправочным парк с 11 специализированными путями и горка малой мощности. При возрастающем вагонопотке, имеющихся мощностей становится недостаточным, особенно в условиях сложной поездной ситуации. Парк станции перегружается и это влечет за собой увеличение времени накопления вагонов и приводит к сверхнормативному простою. Проблема проявляется особенно остро в периоды пиковых нагрузок, когда поезда поступают на станцию с нарушением плана формирования.

Станция Шимановская на данный момент не имеет специализированного сортировочного парка. Часть вагонов, требующих расформирования или переформирования, обрабатывается на приёмо-отправочных путях четного и нечетного парков с низкой производительностью, а часть – отправляется на соседние станции. Отсутствие собственной сортировочной инфраструктуры ограничивает возможность станции по переработке вагонов и не позволяет гибко реагировать на колебания вагонопотока.

Для ликвидации выявленных «узких мест» были разработаны два варианта развития сортировочной инфраструктуры. Первый вариант предусматривает строительство нового сортировочного парка с горкой малой мощности на станции Шимановская (рис. 2).

Данное решение обусловлено полным отсутствием на станции собственных сортировочных устройств. Проектом предусматривается укладка путей в сортировочном парке, строительство горки малой мощности для расформирования составов, установка стрелочных переводов, монтаж горочных и маневровых светофоров, а также устройство систем централизации и блокировки.

Второй вариант предполагает реконструкцию существующего сортировочного парка на станции Белогорск путём добавления двух дополнительных путей (рис. 3). Станция Белогорск уже располагает сортировочно-отправочным парком на 11 путей и механизированной горкой малой мощности, однако загруженность парка в периоды пиковых нагрузок приводит к увеличению времени накопления и роста простоев. До-

бавление двух путей позволит разгрузить существующую инфраструктуру без кардинальной перестройки всей станции. Проектом предусматривается укладка двух путей, установка дополнительных стрелочных переводов и маневровых светофоров, а также необходимые работы по демонтажу существующей инфраструктуры на месте строительства.

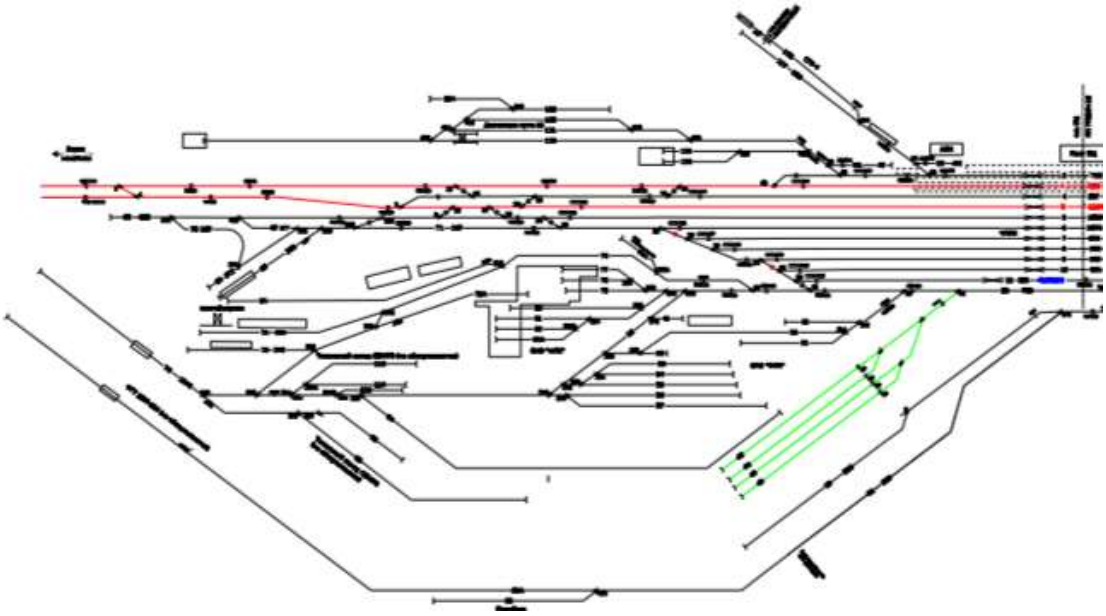


Рис. 2. Фрагмент развития станции Шимановская

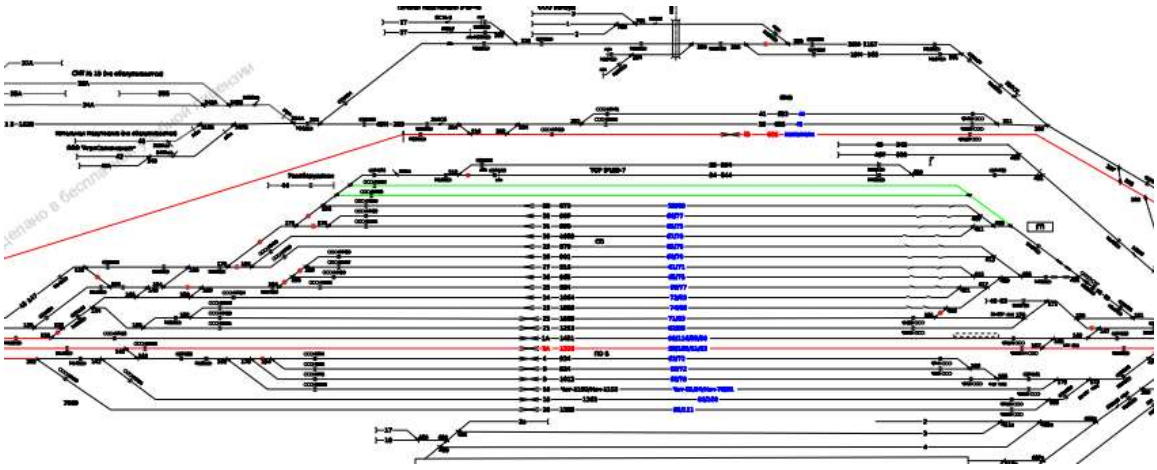


Рис. 3. Фрагмент развития станции Белогорск

В рамках исследования разработаны варианты суточных планграфиков работы станций Белогорск и Шимановская с учетом реконструктивных мероприятий и выполнено сравнение показателей их работы.

По станции Белогорск после добавления двух дополнительных путей в сортировочном парке суточный вагонопоток с переработкой не изменился и остался на уровне 1520 вагонов. Однако качественные показатели работы станции улучшились. Средний простой транзитного вагона с переработкой сократился на 2 часа, а средний простой местного вагона уменьшился на 3,06 часа. Рабочий парк вагонов снизился на 135 вагонов, что говорит о более эффективном использовании подвижного состава. Коэффициенты использования горочных локомотивов также снизились, что означает выполнение того же объёма работы с меньшей загрузкой локомотивов. Реконструкция станции Белогорск позволила улучшить показатели работы – простои сократились, парк вагонов уменьшился, локомотивы стали работать эффективнее.

По станции Шимановская было выполнено строительство нового сортировочного парка с горкой малой мощности. В отличие от Белогорска, суточный объём переработки увеличился с 701 до 951. При этом средний простой транзитного вагона с переработкой вырос на 7,7 часа, а рабочий парк вагонов увеличился на 314 вагонов. Эти изменения являются закономерными, так как на станции появились дополнительные объемы переработки. Коэффициенты использования маневровых локомотивов повысились на 41,7 %, что связано с ростом объема маневровой работы. Строительство сортировочного парка на станции Шимановская, несмотря на рост простоев и парка вагонов, создало новую мощность, необходимую для переработки возрастающего вагонопотока.

Выполнено технико-экономическое обоснование развития сортировочной системы на данном участке. Для каждого из вариантов произведены расчеты капитальных вложений, дополнительных эксплуатационных расходов на содержание новой инфраструктуры, а также определен ожидаемый экономический эффект и срок окупаемости. Основываясь на экономических расчетах, видно, что экономическая эффективность рассматриваемых вариантов существенно отличается.

Капитальные вложения в строительство сортировочного парка на участковой станции Шимановская, включающие: затраты на укладку путей в сортировочном парке, укладку стрелочных переводов, установку горочных и маневровых светофоров, строительство сортировочной горки малой мощности, проектно-изыскательские работы и затраты на временные здания и сооружения, составили 528671,843 тыс. руб. Значительный объем инвестиций обусловлен необходимостью создания инфраструктуры «с нуля» на станции, которая ранее не имела собственных сортировочных устройств. Экономический эффект от реализации первого варианта развития сортировочной инфраструктуры практически све-

ден к нулю, т. к. переработка дополнительного вогонопотока на участковой станции Шимановская не создает прямого дохода для дороги, а лишь перераспределяет существующие вагонопотоки. Затраты в этот проект не будут обеспечивать возврата инвестиций, и тем самым, делают его экономически нецелесообразным для реализации.

Капитальные вложения в развитие сортировочного парка на станции Белогорск, которые включают: укладку двух дополнительных путей в уже существующем сортировочном парке, установку стрелочных переводов, монтаж маневровых светофоров, проектно-изыскательские и общестроительные работы, составили 265 931,414 тыс. Кроме того, дополнительные расходы на содержание новой инфраструктуры составили 29931,883 тыс. руб. Суммарный годовой экономический эффект, достигнутый от сокращения простоя транзитных вагонов с переработкой по станции Белогорск и от исключения переработки в пути следования двухгруппных поездов составил 198 012,5 тыс. руб. При этом срок окупаемости капитальных вложений составил 1,6 года, что значительно меньше нормативного срока окупаемости для проектов подобного типа.

Таким образом, экономически выгодным и технологически приоритетным вариантом является развитие сортировочной инфраструктуры на станции Белогорск, что подтверждает высокую эффективность инвестиций. Данное решение позволит при минимальных инвестициях повысить перерабатывающую способность станции, сократить простои вагонов, снизить эксплуатационные расходы и улучшить качество грузовых перевозок в целом по региону. Проект строительства сортировочного парка на станции Шимановская может рассматриваться как долгосрочная перспектива при условии дальнейшего роста грузопотоков.

Библиографический список

1. Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта : сборник научных трудов. Материалы Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2025. – Текст : непосредственный.
2. Технически-распорядительный акт железнодорожной станции Белогорск Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», 2023 г. – Текст: непосредственный.
3. Технологический процесс работы железнодорожной станции Белогорск Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», 2023 г. – Текст: непосредственный.
4. Технически-распорядительный акт железнодорожной станции Шимановская Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», 2023 г. – Текст: непосредственный.

5. Технологический процесс работы железнодорожной станции Шимановская Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», 2023 г. – Текст: непосредственный.

6. Российские железные дороги : официальный сайт. – URL : http://www.rzd.ru/ – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Коновалова Марина Ивановна, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Управление процессами перевозок, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, marikkon75@mail.ru ;

Дружин Сергей Валерьевич, начальник отдела технического, технологического сопровождения и развития пропускных способностей Забайкальской дирекции управления движением – структурного подразделения Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», Забайкальский край, г. Чита, Россия, Druzhinsv@gmail.com ;

Ринчиндоржиев Никита Баторович, студент группы ЭЖД.1-21-1 специальности «Эксплуатация железных дорог», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, lingistnik@gmail.com.

Крылов А. С.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ИТОГАМ ПЕРЕРАБОТКИ ЕДИНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Качество технологической регламентации производственных процессов причастных подразделений на Восточном полигоне во многом определяет ценность достигаемых результатов работы. В данной публикации представлены основные результаты работы по переработке Единого технологического процесса работы Восточного полигона.

Ключевые слова: Восточный полигон, технологический процесс работы полигона, эксплуатационная работа, ЕТП ВП, перевозочный процесс.

На протяжении многих лет Восточный полигон работает в условиях максимально возможного использования провозной способности. Эф-

фективность эксплуатационной работы находится в критической зависимости от качества технологического процесса работы полигона.

Центральной дирекцией управления движением совместно с АО «ИЭРТ» и РУТ (МИИТ) организовано проведение масштабной работы по теме: «Переработка Единого технологического процесса Восточного полигона» (далее – ЕТП ВП).

Следует отметить, что прежние редакции ЕТП ВП (2016 г., 2019 г.) лишь укрупнено описывали основной функционал Центра управления перевозками на Восточном полигоне (далее – ЦУП ВП), отчасти задействуя причастные подразделения, без пошагового описания порядка взаимодействия.

До настоящего времени не был определен баланс полномочий и ответственности между причастными структурами в реализации задания по увеличению объемов перевозок. Также не учитывалась возможность реализации потенциала повышения качества управления эксплуатационной работой за счёт установления и последующего выполнения технологической дисциплины, обоснованной мотивации персонала.

Важным элементом реинжиниринга технологического процесса является описание моделей в состоянии «как должно быть» с учетом логической схемы реализации бизнес-процессов с описанием участия, взаимодействия и ответственности каждого сотрудника, регламента мониторинга выполнения задач руководителями и определения технологических особенностей взаимодействия участников процессов.

С учетом достигнутого опыта функционирования Восточного полигона [1] и знаний в области применения принципов процессного подхода установленным порядком ОАО «РЖД» сформированы требования [2, 3] на переработку ЕТП ВП. Вместе с тем, поставлена задача увязать в единое целое производственную деятельность всех участников перевозочного процесса: управление перевозками, локомотивный, инфраструктурный, строительный комплексы, а также региональные центры корпоративного управления.

Формирование состояния «как есть» в формате сквозной процессной модели и аналитической текстовой части к ней определило зрелость реализуемых технологических подходов и вектор формирования актуальной редакции ЕТП ВП за счет принятия за основу:

1. Утвержденных многочисленных локальных регламентов взаимодействия, сформированных в условиях безостановочного функционирования перевозочного процесса на Восточном полигоне и отсутствии работоспособной редакции ЕТП ВП;

2. Фактически выполняемых действий и применяемых автоматизированных систем руководителями и специалистами, установленных в ходе рабочих выездов в г. Иркутск;

3. Качественных и объемных показателей работы, с учетом устойчивой динамики интенсификации перевозок в направлении Дальнего Востока России.

На основе проведенного анализа процессов потребность в увеличении трудозатрат и штатной численности не выявлена, соответственно утверждение переработанного ЕТП ВП не приводит к увеличению трудозатрат (численности).

Установлено, что 24 основных детально рассмотренных процессов являются сложившимися в ходе производственной отработки. Потребность в пересмотре и изменении отсутствует, наоборот, определена необходимость максимально точно зафиксировать их в рамках новой редакции ЕТП ВП (в т. ч. с учетом формирования соответствующих процессных моделей в нотации Aris), а именно следующие процессы:

- нормирование эксплуатационной работы;
- разработка плана формирования грузовых поездов;
- разработка графика движения поездов;
- установление участков обращения локомотивов и работы локомотивных бригад;
- порядок пропуска соединенных, длинносоставных и тяжеловесных поездов, поездов повышенной массы и повышенной длины;
- порядок выполнения процесса производственного планирования с детализацией по железным дорогам Восточного полигона и по видам тяги;
- порядок выполнения процесса планирования эксплуатационной работы;
- порядок выполнения процесса планирования приема и сдачи поездов по междорожным стыковым пунктам полигона с сопредельными железными дорогами (в т. ч. железные дороги Якутии);
- порядок сменно-суточного планирования эксплуатационной работы;
- порядок корректировки, анализа, организации выполнения, контроля, сменно-суточных планов эксплуатационной работы;
- координация и синхронизация планов поездной и местной работы;
- порядок планирования подвода порожних вагонов на станции погрузки;
- порядок планирования погрузки, согласования и утверждения суточного клиентского плана погрузки;

- совместное оперативное планирование поездной и грузовой работы между ОАО «РЖД» и ключевыми клиентами;
- порядок регулировки подвода поездов к станциям выгрузки, временное отставление поездов от движения;
- порядок формирование запроса на введение конвенционных ограничений погрузки в адрес станций, расположенных в границах Восточного полигона;
- планирование отправления временно отставленных от движения поездов в адрес припортовых станций;
- планирование подвода поездов к припортовым станциям;
- планирование подвода поездов к межгосударственным погранпереходам;
- порядок выполнения процессов планирования и обеспечения локомотивной тягой и локомотивными бригадами;
- порядок выполнения процесса планирования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ;
- порядок выполнения процесса диспетчерского управления движением поездов и тяговыми ресурсами;
- порядок подготовки справочно-аналитических материалов о работе полигона;
- порядок выполнения процесса информационного обеспечения.

Так же определен ряд необходимых дополнений, не противоречащих действующему ходу реализации процессов, для дальнейшего внесения изменений в Инструкцию по разработке графика движения поездов в ОАО «РЖД» (от 28 декабря 2023 г. № 3362/р) в части:

- формирования рабочей группы для разработки нормативного графика движения поездов в границах Восточного полигона;
- установления следующей последовательности прокладки ниток графика для грузовых поездов:

- сборных;
- хозяйственных поездов;
- грузовых поездов унифицированной массы и длины;
- следующих по специализированным расписаниям;
- соединенных, объединенных (длинных – превышающих полезную длину главных и приемо-отправочных путей железнодорожной станции), повышенной массы, повышенной длины и тяжеловесные;
- остальных категорий.

В ходе изучения процессов отдела разработки плана формирования ЦУП ВП определена производственная необходимость, за рамками ЕТП ВП, в регламентации последовательности действий сотрудников

на центральном, полигонном и дорожном уровнях управления при разработке и корректировке плана формирования грузовых поездов, поскольку Инструктивные указания [4] содержат основные положения системы организации вагонопотоков в поезда и методику расчетов, не являясь при этом регламентом действий причастных работников.

В целом работа по формированию состояния «как есть» позволила сделать системный вывод о сложившейся эффективной технологии в ходе реализации пилотного проекта по переходу от региональных принципов управления перевозочным процессом к планированию и организации движения поездов на полигонах [5].

Все выявленные недочеты находятся в области совершенствования процессов и направлены на:

- усиление дисциплины *(прежде всего в рамках выполнения требований Положения о диспетчерском управлении движением поездов в ОАО «РЖД» (от 26.05.2025 № 1140/р) [6], Инструкции по оперативному планированию поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД» (от 9 июля 2024 г. № 1676/р), Типового порядка оперативного управления тяговыми ресурсами, утвержденный распоряжением ОАО «РЖД» (от 4 декабря 2024 г. № 2975/р) [7]), Регламента управления тяговыми ресурсами в хозяйственном виде движения (от 17 сентября 2025 г. № 1984/р) [8] и других общекорпоративных нормативных документов);*
- уточнение порядка протекания *(текстовое наполнение документа должно быть выполнено на основании согласованных бизнес-процессов и сформированных алгоритмов эффективного взаимодействия всех участников перевозочного процесса. Разделы новой редакции ЕТП ВП должны соответствовать этапам (или подпроцессам) регламентируемого бизнес-процесса и отражать их границы, содержать описание их последовательности и сроков выполнения, участников (исполнителей), входов-выходов для каждой их функции (операции), включая ссылки на нормативные документы)*.

Безусловно, при формировании новой редакции ЕТП ВП поставлена задача исключить неопределенности выполняемых действий, что определяет дополнительные резервы и вносит уверенность достижения поставленных целей с заданным уровнем качества.

Таким образом, был определен порядок перехода от ЕТП ВП с общим (укрупненным) описанием основных выполняемых функций к документу, содержащему состояние «как должно быть», в основе которого увязанная сквозная процессная модель с однозначным установлением конкретных исполнителей, последовательных цепочек действий и получаемых в результате деятельности «продуктов».

Пересмотрена структура документа. Прежде всего, ЕТП ВП опирается на «Инфраструктурную модель» (актуальное техническое оснащение железнодорожной инфраструктуры) которая, в совокупности с наличием тяговых ресурсов, нетягового подвижного состава и квалифицированного штата работников в составе подразделений, участвующих в перевозочном процессе, должна обеспечивать пропуск планируемых размеров грузового движения в границах Восточного полигона.

Эффективное использование железнодорожной инфраструктуры должно обеспечиваться «Технологической моделью» работы Восточного полигона, регламентирующей перевозочный процесс, в т. ч.:

- план формирования грузовых поездов и план маршрутизации;
- нормативный график движения поездов;
- вариантный график движения поездов;
- технические нормы работы парка грузовых вагонов;
- порядок планирования и управления тяговыми ресурсами
- технологические процессы работы подразделений, входящих в границы Восточного полигона.

Инфраструктурная и технологические модели Восточного полигона являются базисом для определения планируемых на расчетный период пропускных способностей, возможностей инфраструктуры и дальнейшего формирования моделей пропуска поездов по железнодорожным участкам:

- целевой поездной модели на перспективу;
- целевой поездной модели на год;
- модели возможностей инфраструктуры на месяц в детализации по декадам и суткам.

Важно отметить, что помимо работы в нормальных плановых условиях проработаны ключевые сценарии функционирования полигона при наличии ограничений в эксплуатационной работе, а именно порядки действий при:

- определении размеров передачи по междорожным стыковым пунктам;
- учете выполнения «окон»;
- стабилизации передачи по междорожным стыковым пунктам при сокращении объемов грузопотоков, поступающих с западных направлений сети;
- регулировочных воздействиях при подводе поездов к припортовым железнодорожным станциям;
- регулировочных воздействиях при подводе поездов к железнодорожный пункт пропуска;

- учете превышения потребного количества локомотивов над прогнозным наличием.

Для удобства работы с документом в приложения вынесены все подразделы, последовательно описывающие действия работников, формируемые и передаваемые продукты, необходимые для обеспечения перевозочного процесса, увязанные между собой моделью сквозного процесса организации работы Восточного полигона

Результаты работы полигона на временных периодах от суток до года формируются в справочно-аналитические материалы, используемые для отчетности полигонного уровня управления перед центральным уровнем, контролем выполнения ключевых показателей эффективности, а также принятия управленческих решений, направленных на повышение эффективности эксплуатационной работы на основе мониторинга и анализа производственных параметров.

С целью однозначного установления сфер влияния всех причастных подразделений в общем технологическом процессе, а также дальнейшего контроля и оценки результатов работы Восточного полигона сформирована «Матрица распределения полномочий и ответственности участников перевозочного процесса на Восточном полигоне», которая в зависимости от перечня ключевых показателей эффективности устанавливает «контроль», «обеспечение», «участие», «координацию подразделений», «мониторинг выполнения», «информирование после исполнения». При этом для каждого подразделения дано детальное описание в части чего реализуется функция и закреплена соответствующая ответственность.

Новая редакция ЕТП ВП являет собой гармонизированную систему управления, эффективной организации эксплуатационной работы, прежде всего, в условиях критически высокого коэффициента использования пропускной способности.

Библиографический список

1. Крылов, А. С. Опыт применения полигонных принципов управления на Восточном полигоне / А. С. Крылов // Железнодорожный транспорт. – 2026. – № 8. – С. 4–9. – Текст : непосредственный.

2. Крылов, А. С. Об актуализации Единого технологического процесса Восточного полигона / А. С. Крылов, Г. М. Биленко, А. А. Шатохин // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 4. – С. 27–32. – EDN NTXZQT. – Текст : непосредственный.

3. Крылов, А. С. Ключевые требования к актуализации единого технологического процесса Восточного полигона // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Академик Владимир

Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки». – Москва : РУТ (МИИТ), 2025. – С. 258–266. – Текст : непосредственный.

4. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» [утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2018 г. № 2872/р]. – Текст : непосредственный.

5. Крылов, А. С. Основные этапы организации работ по переходу от региональных принципов управления перевозочным процессом к планированию и организации движения поездов на полигонах // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки». – Москва : РУТ (МИИТ), 2025. – С. 267–283. – Текст : непосредственный.

6. Крылов, А. С. Актуализация положения о диспетчерском управлении движением поездов в ОАО «РЖД» / А. С. Крылов, И. А. Третьяков // Актуальные проблемы развития инфраструктуры и логистических технологий на железнодорожном транспорте : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 09 апреля 2025 г. – Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2025. – С. 165–175. – EDN FHRYAK. – Текст : непосредственный.

7. Крылов, А. С. Актуализация подходов при оперативном планировании поездной, грузовой работы и управлении тяговыми ресурсами в ОАО «РЖД» / А. С. Крылов // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 8. – С. 14–21. – EDN QRBMDQ. – Текст : непосредственный.

8. Крылов, А. С. Управление тяговыми ресурсами в хозяйственном виде движения / А. С. Крылов, И. А. Третьяков // Железнодорожный транспорт. – 2026. – № 1. – С. 40–43. – EDN ARLGQQ. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

*Крылов Алексей Сергеевич***,** к.т.н., заместитель начальника службы перспективной организации движения и моделирования перевозочного процесса Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД».

Крылов А. С.

ОСНОВЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛИГОННОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ И ЮГО-ЗАПАДНОМ НАПРАВЛЕНИЯХ СЕТИ ОАО «РЖД»

В рамках развития сквозных принципов управления перевозочным процессом, на основе результатов детальной проработки готовности к структурным преобразованиям Центральной дирекции управления движением в части организации функционирования полигонной модели в западной части РФ, подготовлен обосновывающей комплект документов по созданию полигонного уровня управления оперативной работой на Северо-Западном и Юго-Западном направлениях сети. В данной статье раскрываются основные составляющие перехода на новую модель управления.

Ключевые слова: сквозные принципы, эффективность перевозочного процесса, технологический полигон, полигон управления перевозочным процессом, диспетчерское управление, управление тяговыми ресурсами, целевая модель управления.

С 2015 года в ОАО «РЖД» реализуется задача по переходу от региональных принципов управления перевозочным процессом к планированию и организации движения поездов на полигонах сети [1]. Практическим примером ее решения явилось образование Центра управления перевозками на Восточном полигоне.

Как логическое продолжение начатой работы в настоящее время в ОАО «РЖД» проводятся мероприятия по созданию полигонной модели управления на Северо-Западном и Юго-Западном направлениях сети.

I. Основные понятия

В данной работе важно квалифицировано применять терминологию, которая, в общем, определяет ключевые цели и образ ожидаемого результата.

Во-первых, это понятие «**Полигон управления перевозочным процессом** (железнодорожный полигон)»:

1. Совокупность участков сети, имеющих единую технологию работы тягового подвижного состава, идентичную инфраструктуру, зарождение и завершение производственных циклов при обслуживании общих пассажиро- и грузопотоков с максимальным транспортно-логистическим эффектом [2].

2. Укрупненная часть сети железных дорог ОАО «РЖД», объединенная по технологическим признакам (зарождение/погашение грузопотоков, обеспечение тягового обслуживания, логистическое управление подводом к морским портам и межгосударственным стыковым пунктам и др.), с целью унификации технологических и инфраструктурных параметров перевозочного процесса, обеспечения единого сквозного планирования и управления эксплуатационной работой и выполнением ремонтно-путевых работ [3].

Во-вторых, это развитие «**сквозных принципов (технологий**)» организации перевозочного процесса, которые, прежде всего, направлены на обеспечение эффективности принимаемых управленческих решений на всех уровнях, сокращение количества технических операций с вагонами и минимизацию потерь в пути следования [4].

Сквозные принципы (технологии) – это подходы, предусматривающие унификацию и повышение эффективности использования ресурсов, параметров графика движения поездов, требований к содержанию инфраструктуры, согласованное развитие в границах технологических полигонов управления перевозочным процессом всего производственного комплекса, в т. ч.:

- равномерное и беспрепятственное продвижение поездов в границах сети железных дорог ОАО «РЖД» и их подвод к железнодорожным станциям, портам, железнодорожным путям необщего пользования;
- организация пропуска сетевых отправительских маршрутов с унифицированными полигонными нормами массы и длинами составов, контейнерных поездов и поездов, следующих по расписанию;
- рациональное распределение и использование локомотивного парка и организацию рабочего времени и времени отдыха локомотивных бригад на укрупненных полигонах железных дорог ОАО «РЖД»;
- планирование проведения работ по текущему содержанию и ремонту инфраструктуры по технологии «в единых створах».

II. Границы технологических полигонов

На различных площадках, в т. ч. с привлечением отраслевой науки не один год обсуждалась конфигурация полигонов. Уже не у кого не вызывает сомнения действующая конфигурация Восточного полигона, в границах 4 железных дорог [5–7].

Для принятия решения о границах технологических полигонов в западной части России предлагается учитывать существенное влияние на технологию организации эксплуатационной работы динамики изменения объемных показателей по направлениям. Основные объемы по-

прежнему концентрируются на наиболее грузонапряженных направлениях сети, где загрузка пропускной способности превышает допустимые значения (85 % и более), что составляет 25 % от общей эксплуатационной длины сети железных дорог, на которые приходится примерно 80 % сетевого грузооборота [1].

С целью обеспечения единоначалия управления тягой в границах основных маршрутов следования грузопотоков, полностью исключив возникающие противоречия при выполнении регулировочных заданий по передаче поездо-локомотивов на междорожных стыковых пунктах (Балезино и Дружинино Северо-Западного направления, а также Белорецк, Новоперелюбская, Громово и Кривозеровка Юго-Западного направления) и совершенствования технологий управления тяговыми ресурсами в условиях поэтапного перехода управления перевозками на сквозные принципы организации перевозочного процесса, распоряжением ОАО «РЖД» от 9.11.2018 № 2388/р, образованы:

а) центр управления тяговыми ресурсами на Юго-Западном полигоне (ЦУТР ЮЗП) – подразделение Управления по тяговым ресурсам органа управления Центральной дирекции управления движением (далее – ЦД) с передачей ему функций и численности упраздняемых центров управления тяговыми ресурсами на волжском и южном полигонах;

б) центр управления тяговыми ресурсами на Северо-Западном полигоне (ЦУТР СЗП) – подразделение Управления по тяговым ресурсам органа управления ЦД с передачей ему функций и численности упраздняемых центров управления тяговыми ресурсами на северном и уралосибирском полигонах.



Рис. 1. Целевая конфигурация технологических полигонов

Диспетчерский аппарат ЦУТР, имея полную информацию о поездной обстановке и расположении поездопотоков на всем полигоне, организует эффективное распределение парков локомотивов и локомотивных бригад на предъявляемые объемы перевозок. Процесс управления парком локомотивов не изменился, он стал масштабнее [5]. Данный факт закладывает основу для формирования перехода от ЦУТР к ЦУП, как это было сделано в свое время на Восточном полигоне.

Концепцией перспективного диспетчерского управления на сети железных дорог с применением сквозных принципов (от 16 мая 2025 г. № 1072/р) [8–11] определено дальнейшее развитие полигонных технологий и снижение рисков возникновения противоречий на междорожных стыковых пунктах при организации эксплуатационной работы за счет перехода на целевую модель, которая предполагает формирование трех технологических полигонов управления перевозочным процессом (рис. 1):

Восточный полигон – Красноярская, Восточно-Сибирская, Забайкальская и Дальневосточная железные дороги;

Северо-Западный полигон – Октябрьская, Калининградская, Московская, Горьковская, Северная, Свердловская и Западно-Сибирская железные дороги;

Юго-Западный полигон – Северо-Кавказская, Юго-Восточная, Приволжская, Куйбышевская и Южно-Уральская железные дороги.

III. Коротко о предлагаемых преобразованиях

При проектировании организационно-штатных преобразований, прежде всего, важно четко определить объект управления, и соответствующий набор производственных функций.

Объектом управления создаваемых подразделений полигонного уровня на западе России является оперативное планирование и управление поездной и грузовой работой, тяговыми ресурсами в границах полигона.

Для исключения рисков потери управляемости важно сохранить единый центр ответственности и существующий функционал разработки графика движения поездов, плана формирования, предоставления «окон» непосредственно в ЦД с одновременным усилением роли и ответственности региональных диспетчерских центров управления перевозками.

Таким образом, структурные преобразования предполагают в пределах организационно-штатной структуры ЦД выделение из Оперативного управления органа управления ЦД штат работников, выполняющих функции оперативного управления перевозками на технологических полигонах в самостоятельные подразделения органа управления Центральной дирекции управления движением (рис. 2), а именно Управление пе-

ревозок на Северо-Западном полигоне (далее – ЦУП СЗП) и Управление перевозок на Юго-Западном полигоне (далее – ЦУП ЮЗП).



Рис. 2. Структура полигонного уровня на Северо-Западном и Юго-Западном направлениях

В целом данный проект является последовательным продолжением совершенствования организационно-штатной структуры аппарата управления Центральной дирекции управления движением, поддержанным руководством Компании и реализованным в 2022–2025 гг., где для обеспечения сбалансированности между задачами, функционалом и структурой управления был предложен ряд изменений в сфере перехода на полигонные принципы управления, выделения 3х полноценных вертикалей управления [12]:

- организация процесса перевозок (весь комплекс необходимых вопросов в области технологической регламентации основного бизнес-процесса «Грузовые перевозки»);
- организация местной работы и логистики перевозок;
- организация оперативной работы.

Следующим шагом предлагается уточнить действующую технологию оперативного планирования и выполнения поездной и грузовой работы на полигонном уровне за счет дополнения «координирующей функцией» (рис. 3) поездных, локомотивных диспетчеров и отделов логистики перевозок в границах полигона. Данный шаг строго синхрони-

зируются с нормативными документами, уже учитывающими полигонный уровень управления:

- Концепцией перспективного диспетчерского управления на сети железных дорог с применением сквозных принципов (от 16 мая 2025 г. № 1072/р);
- Положением о диспетчерском управлении движением поездов ОАО «РЖД» (от 26.05.2025 № 1140р);
- Инструкцией по оперативному планированию поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД» (от 9 июля 2024 г. № 1676/р);
- Типовым порядком оперативного управления тяговыми ресурсами, утвержденным распоряжением ОАО «РЖД» (от 4 декабря 2024 г. № 2975/р);
- Порядком планирования, предоставления, использования и учета «окон» для работ на инфраструктуре ОАО «РЖД» (от 28 декабря 2023 г. № 3403/р).



Рис. 3. Проектируемый функционал на полигонном уровне

К примеру, календарный план-график проведения «окон» разрабатывается преимущественно согласно полигонной створовой технологии. На Северо-Западном направлении уже сегодня применяется один из элементов сквозной технологий, а именно схема предоставления «окон» с периодичностью два раза в неделю в единых технологических створах с привязкой к конкретным дням недели по технологии Восточного полигона, доказавшей свою эффективность [4].

IV. Разграничение координационных полномочий и право принятия обязательных решений

Полномочия и право принятия обязательных решений закрепляется в комплекте организационных документов (технологическом процессе ЦУП СЗП (ЦУП ЮЗП), положениях о подразделениях и приказах о распределении обязанностей между руководителями).

Ответственным за организацию и управление перевозочным процессом является ЦД в соответствии с Положением ОАО «РЖД» [13] . Заместитель начальника Центральной дирекции управления движением (по оперативной работе), у которого в прямом подчинении находятся ЦУП, ЦУП СЗП, ЦУП ЮЗП, несет ответственность за оперативное управление перевозочным процессом и тяговыми ресурсами на сети железных дорог ОАО «РЖД» в условиях сквозных технологий управления эксплуатационной работой, обеспечивает взаимодействие всех участников перевозочного процесса.

ЦУП осуществляется контроль за общесетевыми параметрами, ограничениями (запретами) с целью выполнения общих задач центрального уровня.

ЦУП СЗП (ЦУП ЮЗП) является структурами, на которые декомпозируется выполнение данных задачи на полигонном уровне.

Руководитель ЦУП СЗП в ранге начальника Управления ЦД уполномочен (в границах полигона) координировать работу Д, ДЦУП и совместно с НЗ-1 железных дорог принимать оперативные решения по вопросам, непосредственно влияющим на выполнение плановых параметров эксплуатационной работы полигона. НЗ-1, в свою очередь, осуществляют координацию функциональных филиалов в границах соответствующей железной дороги.

V. Уровень профессиональных компетенций начальника ЦУП СЗП (ЦЗП ЮЗП)

Уровень профессиональных компетенций начальника ЦУП СЗП (ЦЗП ЮЗП) является одним из решающих факторов успешной реализации предлагаемых преобразований. Здесь важен как опыт управления оперативной работы, так и знания в области инженерной деятельности.

В целях обеспечения эффективности управленческих решений, необходимых для эффективного выполнения своих функций в профиль начальника ЦУП СЗП (ЮЗП) предлагается предусмотреть следующие основные компетенции:

- оперативное управление эксплуатационной работой (2 балла);
- организация движения поездов (2 балл);

- нормативный график движения поездов (2 балла);
- организация «окон» и графика движения поездов (2 балла);
- грузовая и коммерческая работа (1 балл);
- правила перевозки грузов (2 балла);
- организация вагонопотоков (1 балл);
- нормирование и анализ показателей эксплуатационной работы (1 балл);
- организация работы локомотивов и локомотивных бригад (1 балл);
- инженерная деятельность (1 балл).

Данный уровень компетенций сопоставим с профилями начальника региональной дирекции управления движением, начальника Оперативного управления ЦД.

VI. Размещение структур управления полигонного уровня

Отдельным вопросом, который также значим, является организация непосредственного функционирования создаваемых структур управления полигонного уровня с минимальными затратами на их размещение.

Совместно с Российским университетом транспорта (МИИТ) по результатам анализа эксплуатационных, производственных показателей и социальных факторов (рис. 4) оптимальным вариантом для размещения структур управления на полигонном уровне в Северо-Западной части России определен **город Екатеринбург**, в Юго-Западной – **город Самара**, т. к. эти города обладают наибольшим потенциалом и благоприятными условиями для создания и дальнейшего обеспечения деятельности новой структуры, а также позволяют разместить персонал без нового строительства.

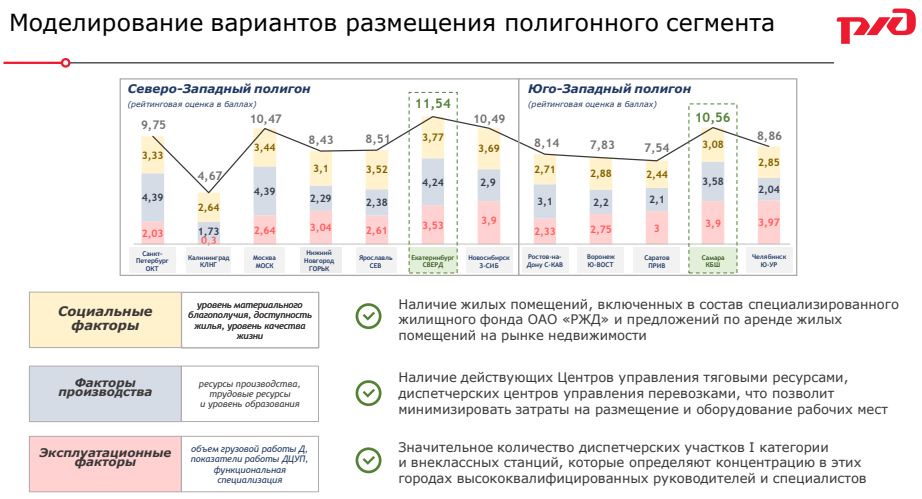


Рис. 4. Моделирование вариантов размещения полигонного сегмента

И уже сегодня по согласованию с руководителями Свердловской и Куйбышевской железных дорог организована работа по обеспечению кабинетами и полному укомплектованию рабочих мест сотрудников создаваемых Управлений перевозок на Северо-Западном и Юго-Западном полигонах.

Таким образом, работа по проектированию и обоснованию структуры полигонного уровня в западной части страны – это, прежде всего, веха в истории развития ОАО «РЖД», к которой ЦД последовательно подходила [1]. Вместе с этим, полигонная модель управления перевозочным процессом является одной из наиболее эффективных организационных мер, которая сегодня как никогда актуальна для Компании в условиях, требующих новых решений в краткосрочной перспективе.

Библиографический список

1. Крылов, А. С. Основные этапы организации работ по переходу от региональных принципов управления перевозочным процессом к планированию и организации движения поездов на полигонах // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки». – Москва : РУТ (МИИТ), 2025. – С. 267–283. – Текст : непосредственный.

2. Методика ОАО «РЖД» от 14.04.2017 № 612 «Методика определения границ полигонов управления перевозочным процессом с учетом принципов клиентоориентированности, а также технических, технологических, организационных, социальных и других факторов». – Текст : непосредственный.

3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 26.12.2016 № 2700р «Об утверждении Типового технологического процесса работы полигона». – Текст : непосредственный.

4. Крылов, А. С. Формирование и реализация единой сквозной технологии планирования и организации эксплуатационной работы, обеспечивающей процесс перевозки грузов в условиях использования парка приватных вагонов и реализации полигонных технологий // Шестая Международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (Санкт-Петербург, 29–31 октября 2025 г.) : сборник трудов. – Санкт-Петербург : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2025. – С. 135–153. – Текст : непосредственный.

5. Крылов, А. С. Опыт применения полигонных принципов управления на Восточном полигоне / А. С. Крылов // Железнодорожный транспорт. – 2026. – № 8. – С. 4–9. – Текст : непосредственный.

6. Крылов, А. С. Об актуализации Единого технологического процесса Восточного полигона / А. С. Крылов, Г. М. Биленко, А. А. Шатохин // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 4. – С. 27–32. – EDN NTXZQT. – Текст : непосредственный.

7. Крылов, А. С. Ключевые требования к актуализации единого технологического процесса Восточного полигона // Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки». – Москва : РУТ (МИИТ), 2025. – С. 258–266. – Текст : непосредственный.

8. Крылов, А. С. Концепция перспективного диспетчерского управления на сети железных дорог / А. С. Крылов // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 9. – С. 39–45. – Текст : непосредственный.

9. Крылов, А. С. Постановка задачи на разработку концепции перспективного диспетчерского управления на сети железных дорог с применением сквозных принципов / А. С. Крылов // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : сборник трудов Научно-практической конференции с международным участием, Москва, 20-21 октября 2021 г. – Москва : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», 2022. – С. 242–258. – Текст : непосредственный.

10. Формирование целевой конфигурации границ диспетчерских участков и сквозной процессной модели «Диспетчерское управление перевозочным процессом» / А. С. Крылов, Е. С. Максимова, В. К. Полякова, С. О. Ждакаев // Транспорт Урала. – 2025. – № 3(86). – С. 42–50. – DOI 10.20291/1815-9400-2025-3-42-50. – EDN GEYEQO. – Текст : непосредственный.

11. Белогузов, И. В. Целевая модель диспетчерского управления на сети железных дорог с применением сквозных принципов / И. В. Белогузов, А. С. Крылов, А. Ф. Бородин, Е. С. Максимова // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 9. – С. 19–26. – Текст : непосредственный.

12. Крылов, А. С. Совершенствование организационно-штатной структуры Центральной дирекции управления движением / А. С. Крылов // Железнодорожный транспорт. – 2026. – № 4. – С. 24–29. – Текст : непосредственный.

13. Положение ОАО «РЖД» от 15.06.2009 № 63 (ред. от 27.06.2022) «Положение о Центральной дирекции управления движением – филиале Открытого акционерного общества «Российские железные дороги». – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:
*Крылов Алексей Сергеевич***,** к.т.н., заместитель начальника службы перспективной организации движения и моделирования перевозочного процесса Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД».

Кузнецова А. К., Лукашова О. А.

ИНТЕГРАЦИЯ IoT-ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЙ СЕКТОР: ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ

В статье рассматриваются аспекты внедрения технологий Интернета вещей (IoT) в транспортно-логистический сектор в условиях цифровой трансформации 2026 года. Актуальность исследования обусловлена введением обязательного электронного перевозочного документа в России с сентября 2026 года и необходимостью преодоления разрыва между технологическим потенциалом IoT и сложностью его интеграции в устаревшую инфраструктуру. Систематизированы ключевые направления цифровизации, выявлены преимущества и недостатки внедрения IoT.

Ключевые слова: интернет вещей (IoT), транспортно-логистический сектор, цифровая трансформация, автоматизация логистики, управление цепями поставок.

Как известно, логистическая отрасль в 2026 г. демонстрирует глубокую технологическую трансформацию. И ключевую роль в этом процессе играет Интернет вещей, суть которого сводится к подключению физических объектов к глобальной сети с возможностью их непрерывного информационного обмена. Как результат, компании-перевозчики получают в свое распоряжение не просто средства удаленного контроля за собственным транспортом, а полноценную цифровую модель происходящего на любом участке маршрута. Стоит отметить, что IoT-оборудование сегодня уже перестало восприниматься как нечто новое или экспериментальное, став, по сути, неотъемлемой частью современных транспортных систем.

Актуальность данной темы обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов.

Во-первых, необходимостью изучения влияния цифровых технологий на развитие транспортно-логистической инфраструктуры, а также для определения перспектив дальнейшего использования этих технологий.

Во-вторых, в Российской Федерации с 1 сентября 2026 г. вводится обязательный электронный перевозочный документ (ЭПД), что создает новые требования к цифровизации и одновременно открывает возможности для масштабного внедрения IoT-технологий.

Однако, несмотря на высокий технологический потенциал, интеграция IoT в логистические процессы неотделима от существенных трудностей. Существует противоречие между возможностями технологии и сложностью её внедрения в устаревшую инфраструктуру.

Дополнительным фактором актуальности выступает необходимость адаптации зарубежных IoT-решений к российским реалиям: неравномерному покрытию связью, климатическим особенностям, а также требованиям национального законодательства в области персональных данных и электронного документооборота.

Выделим ключевые направления цифровизации транспортно-логистической инфраструктуры [4]:

1. Интеграция данных. Сбор и систематизация информации из различных источников в единую централизованную модель с помощью специализированных приложений и технологий для формирования целостной картины корпоративных данных.

2. Автоматизация процессов. Внедрение современных методик, позволяющих управлять складскими операциями, обработкой грузов и планированием маршрутов без участия человеческого фактора (или с сохранением за ним ключевых решений), что позволит ускорить процессы и снизить количество ошибок.

3. Мониторинг и управление. Отслеживание всего, что происходит с инфраструктурой, техникой и грузами, в режиме онлайн. Мониторинг проводится для обеспечения безопасности и оперативного реагирования на нештатные ситуации.

4. Планирование и оптимизация. Применение специальных алгоритмов, чтобы проложить лучшие маршруты, распределить грузы и ресурсы правильно с целью снижения затрат.

5. Управление рисками. Анализ возможных угроз при перевозках и соответсвующих мер по их минимизации для повышения надежности логистики.

Так в сентябре 2020 г. Росстандартом были утверждены специальные отраслевые стандарты для интернета вещей в России. Это помогло развитию и повсеместному распространению IoT и в логистической сре-

де. В настоящее время, на логистическом рынке достаточно много разного оборудования, что облегчает внедрение умных технологий. Бизнес может выбрать как бюджетное решение с минимальным набором функций, так и масштабную комплексную систему, которая выводит логистику на новый цифровой уровень.

Внедрение IoT-технологий в транспортно-логистический сектор представляет компаниям ряд значительных преимуществ [7]:

– Снижение расхода топлива за счёт оптимизации маршрутов и контроля стиля вождения.

– Оптимизация маршрутов в реальном времени сокращает время в пути, увеличивается точность прогнозирования времени прибытия.

– Автоматизация учётных операций с использованием RFID-меток позволяет сократить время обработки грузов на складах.

– Постоянный контроль технического состояния транспортных средств и поведения водителей, что снижает аварийность, а также позволяет отслеживать параметры перевозки чувствительных грузов, минимизируя риски порчи и хищения.

Однако наряду с перечисленными преимуществами внедрение IoT сопряжено с существенными недостатками и ограничениями:

– Финансовые барьеры включают высокие первоначальные инвестиции в оборудование, программное обеспечение и интеграцию с существующими корпоративными системами (ERP, WMS, TMS), а также регулярные эксплуатационные расходы.

– Риски в сфере информационной безопасности (уязвимость периферийных устройств к кибератакам, возможность подмены телеметрических данных) и правовой неопределённости (вопросы юридической силы данных с IoT-устройств при разрешении споров, требования 152-ФЗ о персональных данных применительно к отслеживанию местоположения водителей).

Таким образом, решение о внедрении IoT в логистике требует взвешенного подхода, учитывающего масштаб бизнеса, тип перевозимых грузов и готовность компании к организационной трансформации.

Внедрение данной технологии в России позволит повысить эффективность логистических операций, сократить временные и финансовые издержки, а также усилить безопасность и контроль.

Для успешной реализации модели необходима оптимизация работы уже действующих технологий и государственных органов в пунктах пропуска, что предполагает решение следующих задач:

1. Пересмотреть существующие методы контроля и привести их в соответствие с современными реалиями;

2. Организовать нормальный информационный обмен между участниками внешнеэкономической деятельности (ВЭД) и государственными структурами, создав для этого общее цифровое пространство;

3. Объединить все технические средства в единую информационную среду, которая позволяла бы обрабатывать большие объемы данных, нужные каждому ведомству;

4. Оснащение пунктов пропуска современной вычислительной техникой и оборудованием для контроля.

Анализ внедрения IoT-технологий в транспортно-логистическом секторе позволяет выделить несколько успешных примеров, как в России, так и за рубежом (см. Таблицу) [5].

Таблица

Примеры успешной интеграции IoT в логистические процессы

Название компании	**Описание деятельности**	**Применение IoT в компании**
СИБУР	Крупнейший нефтехимический холдинг России	Совместно с «Яндекс Маршрутизацией» автоматизировал 98 % автоперевозок, обеспечив онлайн-мониторинг 85 % маршрутов на всём пути следования. Время отслеживания грузов сократилось с 3 часов до нескольких секунд, затраты на сервис составили менее 0,05 % от стоимости тонны продукции [6]
Газпром нефть	Российская нефтегазовая компания	Провела пилотные испытания комбинаций IoT и блокчейн в управлении поставками. На запорную арматуру установлены GPS-трекеры и RFID-метки. Данные о местоположении, скорости и остановках фиксировались в смарт-контракте на блокчейне, обеспечивая неизменность и прозрачность информации для всех участников процесса [2]
MOST	Мониторинг и управление работой транспортно-распределительных центров	Комбинация GSM, датчиков и облачных технологий дает улучшение транспортной логистики, оптимизацию маршрутов и более жесткий контроль поставок [1]
Volvo	Мировой производитель грузовых автомобилей и коммерческого транспорта	Volvo с помощью облачного IoT-решения отслеживает мировые поставки автозапчастей и автомобилей [1]

Окончание Таблицы

Название компании	**Описание деятельности**	**Применение IoT в компании**
Amazon	Крупнейший мировой интернет-ритейлер и логистический оператор	Использует роботов Kiva на складах для автоматизации отбора и упаковки товаров. Цикл складских операций для конкретного товара сократился с 60–75 до 15 минут, пространство складов оптимизировано на 50 %, операционные расходы снижены на 20 % [5]
ГК «Черкизово»	Крупный российский производитель мясной продукции	Внедрил автоматизированную систему контроля и наблюдения за транспортом для мониторинга парка из 2000 машин в реальном времени. Система отслеживает местоположение, скорость соблюдение маршрутов, температуру в кузове и состояние дверей. Простои транспорта сократились на 20 % в первый же месяц работы системы [3]

Приведенные примеры наглядно показывают, что внедрение IoT в логистику позволяет существенно повысить эффективность, прозрачность и надежность процессов, а также дает компаниям, инвестирующим в цифровые технологии, дополнительные конкурентные преимущества.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что Интернет вещей (IoT) выступает ключевым драйвером технологической трансформации транспортно-логистического сектора в 2026 г. На фоне роста конкуренции и повышенного внимания к вопросам устойчивого развития, компании, которые прямо сейчас начинают внедрять системы IoT-отслеживания, получают шанс стать лидерами и диктовать правила игры на рынке логистических услуг.

Библиографический список

1. Абрамов, В. И. Интернет вещей в логистике: характеристики, преимущества, практики развития / В. И. Абрамов, А. М. Файзуллина // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. – Серия 1. – Экономика и управление. – 2024. – № 3(50). – С. 98–105. – Текст : непосредственный.

2. Интернет вещей и блокчейн испытаны в логистике. – URL : https://iot.ru/promyshlennost/internet-veshchey-i-blokcheyn-ispytany-v-logistike (дата обращения: 03.06.2026 г.). – Текст : электронный.

3. Как «Черкизово» сократило простои транспорта на 20 % с помощью цифровизации. – URL : https://companies.rbc.ru/news/YvdmNi5M72/kak-cherkizovo-sokratilo-prostoi-transporta-na-20-s-pomoschyu-tsifrovizatsi/ (дата обращения: 03.04.2026 г.). – Текст : электронный.

4. Метелкин, П. В. Роль цифровых технологий в интеграции и развитии транспортно-логистической инфраструктуры / П. В. Метелкин, А. Б. Фильчиков // Региональная и отраслевая экономика. – 2024. – № 3. – С. 78–83. – Текст : непосредственный.

5. «Умные склады»: как сенсоры, роботы и дроны меняют логистику. – URL : https://iot.ru/riteyl/umnye-sklady-kak-sensory-roboty-i-drony-menyayut-logistiku (дата обращения: 02.06.2026 г.). – Текст : электронный.

6. СИБУР в партнерстве с «Яндекс Маршрутизацией» автоматизировал 98 % грузоперевозок. – URL : https://sibur.digital/217-null (дата обращения: 03.04.2026 г.). – Текст : непосредственный.

7. Транспортный мониторинг в 2025 году: как IoT меняет логистику. – URL : https://rosstip.ru/news/6253-transportnyj-monitoring-v-2025-godu-kak-iot-menyaet-logistiku (дата обращения: 02.07.2026 г.). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Кузнецова Александра Константиновна, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровский край, г. Хабаровск, Россия, kuzsasha10@yandex.ru ;

Лукашова Олеся Аркадьевна, к.э.н., доцент кафедры «Экономика и управление на транспорте», Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровский край, г. Хабаровск, Россия, lukashova-lyusya@mail.ru.

Марченко М. А.

ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК И ПОДХОД К ЕЁ РЕШЕНИЮ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА

В статье рассмотрены тенденции развития транспортного рынка в рыночных условиях. Выявлена одна из наиболее острой проблем, препятствующая реализации пунктов Транспортной стратегии. Определена задача, решение которой способствует нивелированию данных препятствий. В рамках статьи предложен алгоритм на основе

нейросетевой модели, задача которого – определение сроков доставки груза при мультимодальных перевозках с учётом непроизводительных задержек. Рассмотрены перспективы применения алгоритма в виде программного продукта на языке Python и использовать качестве дополнения (цифрового ассистента) к автоматизированным системам транспортных компаний.

Ключевые слова: цепочка поставок, мультимодальная перевозка, нейросетевой анализ, логистическая операция, цифровой ассистент.

Транспортная отрасль оказывает значимую роль в функционировании государства, сохранении его суверенитета и развития экономики. В Российской Федерации ввиду обширных территорий транспорту отведена роль обеспечения связанности регионов между собой, обеспечение мобильности населения и удовлетворение спроса на перевозки. По этой причине в соответствии с Транспортной стратегией до 2030 года [1] в целях поддержания обороноспособности и экономического суверенитета государства поставлены и решаются задачи по совершенствованию функционирования российского транспортно-логистического комплекса.

В условиях изменения условий функционирования рынка транспортных перевозок в Российской Федерации остаётся проблемой рациональное планирование логистических маршрутов грузовых перевозок в условиях быстро меняющейся политической и экономической обстановкой на мировой арене. Следовательно, является актуальной задача оперативного планирования маршрутов грузовых перевозок с использованием всех доступных видов транспорта, позволяющих обеспечить оптимальную с точки зрения времени или экономических расходов доставку груза. Решение этой задачи направлено как на оптимизацию цепочек доставок грузов в рамках отдельных транспортных предприятий, так и на совершенствование российского транспортно-логистического комплекса в целом [2–4].

Изменения, происходящие в транспортно-логистическом комплексе, наглядно отражены динамикой статистических данных на рис. 1-2.

По динамике статистических данных отслеживается тенденция сокращения среднего расстояния перевозок грузов, а также постепенного перехода грузопотока с железнодорожного транспорта на автомобильный. Это связано со спецификой рыночной экономики, а также с типом рынка грузовых перевозок, представляющей собой монополистическую конкуренция, которая характеризуется наличием значительного количества продавцов, предлагающих схожие, но не стандартизированные услуги. При этом каждая компания обладает некоторой рыночной вла-

стью благодаря дифференциации услуг [6]. Это обуславливает необходимость развития транспортного рынка с учётом интересов всех его участников, что осложняет задачу по оптимизации цепочек доставок грузов в рамках отдельных транспортных предприятий.



Рис. 1. Динамика изменения объёма перевезённых грузов железнодорожным и автомобильным видами транспорта за 2021–2025 гг. [5]

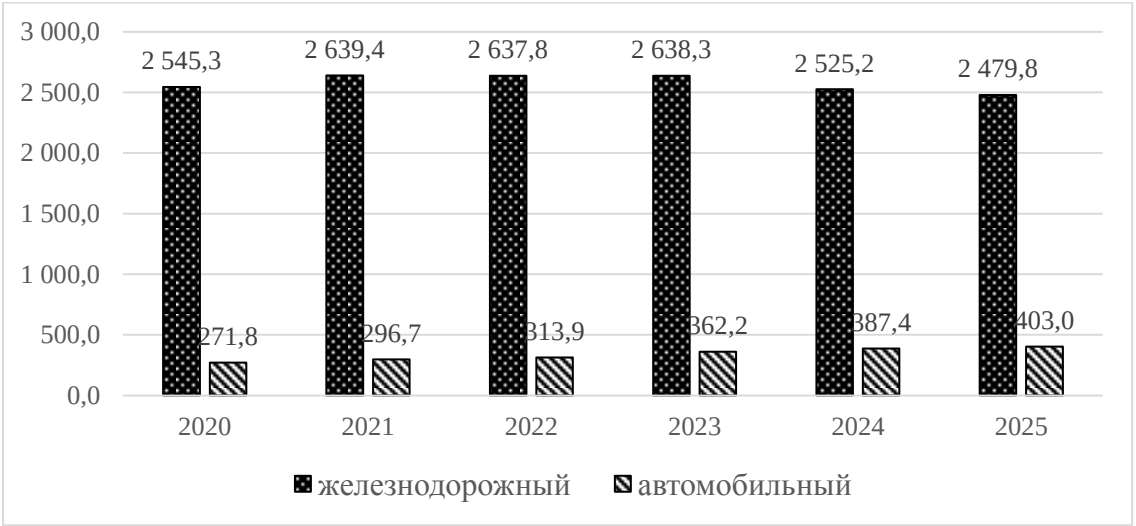


Рис. 2. Грузооборот по железнодорожному и автомобильному видам транспорта за 2021–2025 гг. [5]

Специфика рыночной экономики также приводит к повышению популярности мультимодальных перевозок. Их главными преимущества заключаются в гибкости маршрутов, оптимизации затрат на перевозку, упрощённое управление перевозками, доступность отдалённых регионов для осуществления перевозок, упрощение документооборота, повышение сохранности груза за счёт возможности применения контейнерных технологий. Растущая популярность мультимодальных перевозок приводит к их приоритетному применению в цепочках поставок современных транспортных предприятий. Таким образом, задача исследования состоит в оптимизации мультимодальных перевозок грузов с точки зрения сокращения времени на перевозку [7].

В настоящей работе предложено одно из возможных решений поставленной задачи, позволяющее произвести оценку эффективности организации мультимодальных перевозок на основе анализа непроизводительных задержек, которые возникают на стыке логистических операций. В основе решения лежит метод прогнозирования значений непроизводительных задержек транспортных единиц на основе применения технологии нейросетевого анализа. Его применения для решения поставленной задачи обосновано широкими возможностями в области прогнозирования и в задачах пересчёта планов при сбоях, где критична скорость получения допустимого решения [8]. В исследовании предложена математическая модель (1), позволяющая произвести расчёт времени доставки груза от грузоотправителя грузополучателю:

$$T_{\text{п}} = t_{\text{погр}} \cdot \alpha_{\text{погр}} + \sum_{i=1}^{n} T_i \cdot \alpha_{Ti} + \sum_{i=1}^{n-1} \text{П}_i \cdot \alpha_{\text{П}i} + t_{\text{выгр}} \cdot \alpha_{\text{выгр}} \qquad (1)$$

где $t_{\text{погр}}$ – время на погрузку партии груза в пункте отправления, мин;

$\alpha_{\text{погр}}$ – непроизводительное время ожидания отправления, мин;

T_i – время транспортировки партии груза по i-му участку пути, мин;

α_{Ti} – время ожидания приёма груза на i-й терминал, мин;

П_i – время перегрузки партии груза в другую транспортную единицу и время на хранение партии груза на складе: $\text{П}_j = t_{\text{пер}i} + t_{\text{хр}i}$; в случае перегрузки по прямому варианту время на хранение равно нулю ($t_{\text{хр}}$=0);

$\alpha_{\text{П}i}$ – время ожидания отправления груза на $i+1$ участок пути, мин;

$t_{\text{выгр}}$ – время на выгрузку партии груза в пункте назначения, мин;

$\alpha_{\text{выгр}}$ – время ожидания передачи партии груза грузополучателю или его представителю, мин.

Целевая функция оптимизации перевозочного процесса имеет следующий вид (2):

$$\alpha_{\text{п}} = \alpha_{\text{погр}} + \sum_{i=1}^{n} \alpha_{Ti} + \sum_{i=1}^{n-1} \alpha_{\text{П}i} + \alpha_{\text{выгр}} \rightarrow \min \qquad (2)$$

Если суммарное время непроизводительного ожидания логистических операций при перевозке стремится к нулевому значению, организация рассматриваемого перевозочного процесса считается идеальной. Однако в реальных условиях, как правило, такие условия недостижимы в связи с резким ростом расходов на перевозку и в силу влияния внешних случайных факторов на цепочку поставок.

Достичь сокращения показателя $\alpha_{\text{п}}$ возможно путём сопоставления расхождения фактического времени транспортировки груза и нормативного значения времени $\text{t}_{\text{н}}$ на всех этапах завершения каждой логистической операции. В рамках исследования расхождение предлагается оценивать при помощи критерия Пирсона – непараметрическому методу, позволяющему производить оценку значимости различий между фактическими данными и теоретическими ожиданиями, основанными на нулевой гипотезе [9]. В рамках решаемой задачи фактическими данными выступает время на выполнение каждой логистической операции на всех этапах перевозки T_i и П_i, а в качестве теоретических ожиданий – $\text{t}_{\text{н}i}$. Для упрощения выразим время на выполнение логистических операций следующим образом (3):

$$Л_i = t_{\text{погр}} + \sum_{i=1}^{n} T_i + \sum_{i=1}^{n-1} \text{П}_i + t_{\text{выгр}}. \qquad (3)$$

Тогда задача нахождения расхождения между фактическими данными и теоретическими ожиданиями имеет следующий вид (4):

$$\alpha_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(Л_i - \text{t}_{\text{н}i})^2}{\text{t}_{\text{н}i}}. \qquad (4)$$

Задача обеспечения бесшовности мультимодальной перевозки и исключение непроизводительных задержек сводится к выполнению условия (5):

$$\alpha_{\text{п}} \leq \alpha_{\text{кр}}, \qquad (5)$$

где $\alpha_{кр}$ – критическое расхождение, мин.

Для определения значения критического расхождения определяем число степеней свободы и коэффициента значимости. В качестве исходных данных принимаем значение степени значимости равным 3, а коэффициент значимости – 0,05. Критическое расхождение $\alpha_{кр}$ составит $3{,}18 \approx 4$ минуты. Следовательно, в целях обеспечения бесшовности мультимодальной перевозки и исключения непроизводительных задержек требуется, чтобы максимальное расхождение не превышало четырёх минут.

Обеспечивать соблюдение условия (5) предлагается путём статистического анализа данных времени следования грузовых единиц j по звеньям логистической цепи i с помощью полносвязных нейронных сетей [24]. Грузовые единицы j могут иметь различия между собой по виду транспорта, типу транспортной единицы и состоянию (гружёные или порожние). Исходные данные поступают в сеть в виде двумерного тензора (6) [10]:

$$\alpha_{п-l} = \sum_{j=1}^{p} \sum_{i=1}^{n-l} \alpha_{ij,} \tag{6}$$

где l – оставшееся количество звеньев логистической цепи на момент анализа данных.

Выходные данные нейросетевой модели представлены в виде двумерного тензора (7) [10]:

$$\alpha_{п} = \sum_{j=1}^{p} \sum_{i=1}^{n} \alpha_{ij,} \tag{7}$$

После того, как получена вся необходимая информация по фактическим и прогнозным задержкам на всём маршруте перевозки, производится проверка выполнения условия (5). В случае его успешного выполнения делается вывод о выполнении нормативных сроков мультимодальной перевозки. Невыполнение условия свидетельствует о наличии отклонений от выполнения нормативных сроков мультимодальной перевозки. Для максимального нивелирования отклонений требуется оперативное вмешательство оператора транспортного компании по рассматриваемой перевозке. Структура нейросетевой модели приведена на рис. 3.

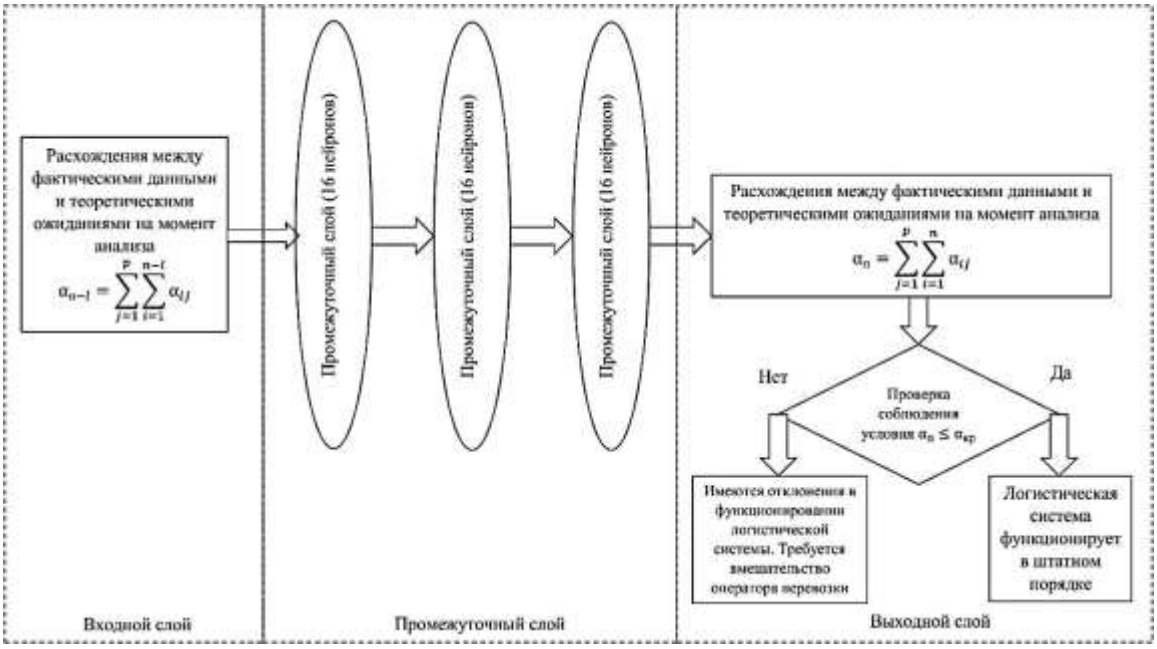


Рис. 3. Алгоритм оценки непроизводительных задержек на основе нейросетевой модели (составлено автором)

На основе предложенного в исследовании алгоритма предполагается создание программного продукта на языке Python. Использовать программный продукт планируется в качестве дополнения (цифрового ассистента) к функционирующим автоматизированным системам транспортных компаний.

Таким образом, в статье рассмотрены тенденции развития транспортного рынка в рыночных условиях. Выявлена одна из наиболее острой проблем, препятствующая реализации пунктов Транспортной стратегии. Определена задача, решение которой способствует нивелированию данных препятствий. В рамках статьи предложен алгоритм на основе нейросетевой модели, задача которого – определение сроков доставки груза при мультимодальных перевозках с учётом непроизводительных задержек. Данный алгоритм предполагается реализовать в виде программного продукта на языке Python и использовать качестве дополнения (цифрового ассистента) к автоматизированным системам транспортных компаний. Применение алгоритма в реальных условиях будет способствовать снижению временных издержек в мультимодальных перевозках, что в свою очередь способствует решению задачи оптимизации цепочек доставок грузов в рамках отдельных транспортных предприятий и совершенствования российского транспортно-логистического комплекса.

Библиографический список

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]. – Москва : Правительство Российской Федерации, 2021. – 282 с. – Текст : непосредственный.

2. Покровская, О. Д. Комплексная оценка транспортно-складских систем / О. Д. Покровская // Железнодорожный транспорт. – 2019. – Т. 7. – С. 26–32. – Текст : непосредственный.

3. Никифорова, Г. И. Качество транспортной услуги / Г. И. Никифорова, О. П. Кизляк // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году качества. В 2-х частях, Гомель, 21–22 ноября 2024 г. – Гомель : Белорусский государственный университет транспорта, 2024. – С. 52–54. – Текст : непосредственный.

4. Осьминин, А. Т. Развитие транспортно-логистического обслуживания в современных условиях / А. Т. Осьминин, Г. И. Никифорова // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2026. – Текст : непосредственный.

5. Росстат. Транспорт в России. – Москва : Федеральная служба государственной статистики, 2026. – Стат. сб. – URL : https://rosstat.gov.ru/statistics/transport. – Текст : электронный.

6. Табачникова, Е. В. Влияние модели конкуренции на рыночное поведение грузового автотранспортного предприятия / Е. В. Табачникова // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2015. – № 1(41). – С. 105–111. – Текст : непосредственный.

7. Правила приема перевозчиком заявок грузоотправителей на перевозку грузов железнодорожным транспортом [утверждены Министерством транспорта РФ от 25.07.2015 № 228 (в редакции приказа Минтранса России от 18.07.2017 № 265)]. – [Москва, 2015]. – Текст : непосредственный.

8. Обзор исследований применения искусственного интеллекта и цифровых двойников для ускорения транспортных потоков на железнодорожном транспорте / А. Т. Осьминин, Т. А. Малахова, А. С. Рящиков, И. И. Осьминина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 1(101). – С. 36–42. – Текст : непосредственный.

9. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей : учебник для вузов. – Издание 6-е, стереотипное. – Москва : Высшая школа, 1999. – 576 с. – Текст : непосредственный.

10. Франсуа Штолле. Глубокое обучение на Python / Франсуа Штолле. – Издательство Питер, 2022. – 400 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:
Марченко Максим Александрович, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВО «Петербургский университет путей сообщения Императора Александра I», г. Санкт-Петербург, Россия, maks.marchenko1998@mail.ru.

Оленцевич В. А.

ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОСТОЧНОГО ЭКСПОРТНОГО КОНТУРА

Необходимость обеспечения потребного количества инфраструктурного комплекса железных дорог на восточном направлении страны особенно остро продиктована комплексом экономических, социальных, логистических и стратегических задач. Дефицит пропускных и провозных мощностей приводит к серьёзным ограничениям в развитии экономики России, формирует барьеры для формирования устойчивого восточного экспортного контура. Исследование рассматривает перевозочный процесс как систему правил, мощностей и форм диспетчерского управления. На примере ООО «Газпромтранс» показано, как маршрутизация газового конденсата и сезонные ограничения влияют на результат перевозок и экономический эффект участников перевозочного процесса на Восточном полигоне железных дорог.

Ключевые слова: Восточный полигон железных дорог, транспортный инфраструктурный комплекс, технологическая цепочка, восточный экспортный контур, финансовый результат, железнодорожная логистика, дефицит пропускных и провозных мощностей.

В условиях активного развития экономики растёт потребность в эффективных грузовых перевозках. Недостаток инфраструктуры, особенно на восточном направлении страны, становится «узким местом», сдерживающим развитие. Формирование устойчивого восточного экспортного контура не является разовым проектом. Это, прежде всего, системный процесс, суть которого заключается в переориентации российских экспортных потоков на страны Азиатско-Тихоокеанского региона, в первую очередь на Китай. Создание для этого необходимого размера и качества

инфраструктуры по видам транспорта, механизмов государственной поддержки и формирование новых логистических цепочек [1–3].

ООО «Газпромтранс» обеспечивает грузоперевозку стабильного газового конденсата и сырой нефти, связывая добычу, переработку и доставку в единую технологическую цепочку с транспортной инфраструктурой ОАО «Российские железные дороги». Компания действует как часть более широкой производственной системы, взаимодействуя с дочерними структурами и согласуя транспортные решения с задачами газового и нефтяного бизнеса. С целью наиболее эффективной организации работы технологической цепочки и минимизации затрат, перевозочный процесс опирается на работу железнодорожных станций, подъездных путей и узлов Восточного полигона железных дорог, где осуществляется подача, прием, формирование и отправление вагонов-цистерн. Маршруты и загрузка подвижного состава управляются через информационно диспетчерские системы, что позволяет отслеживать движение вагонов, планировать отгрузки и своевременно корректировать производственные решения [4, 5].

Если в 2024 году нефтепродукты формировали более 70 % выручки, что доказывает их ключевую роль в денежном потоке компании и обеспечивает устойчивость операционной модели, что с 2025 года доля нефтепродуктов превысила 66 %, а общая выручка достигла 3,607 трлн рублей [4, 5]. Это отражает перестройку структуры продаж под внешние ограничения. Рост значения переработки усиливает потребность в точной маршрутизации, согласовании сроков и масштабов грузоперевозок, временном контроле доставки, поскольку в подобных условиях железнодорожный транспорт становится ключевой частью финансового результата.

Газопровод связывает месторождения Восточной Сибири с китайским рынком и задаёт устойчивую загрузку инфраструктурного комплекса ОАО «Российские железные дороги» на долгосрочном горизонте. Действующий контракт обеспечивает базовый поток, а «Сила Сибири-2» формирует следующий этап расширения восточного экспорта (рис. 1) [1, 4].

В 2,4 трлн $м^3$ оцениваются запасы месторождения газа, что подтверждает его стратегическую роль для восточного газового кластера России. Такие параметры делают Ковыкту опорой долгосрочного развития проекта Восточный полигон железных дорог и объясняют высокий приоритет железнодорожной и трубопроводной логистики в регионе [1, 4, 6, 7].

Таким образом, ООО «Газпромтранс» тесно встроен в производственную систему холдинга «РЖД». Ковыктинская ресурсная база задаёт масштабы текущих и плановых задач, а железнодорожная логистика должна быть выстроена так, чтобы превращать добычу в управляемый

поток поставок. Компания работает на стыке производства и транспорта, связывая добывающий контур с магистральными маршрутами и экспортными направлениями.

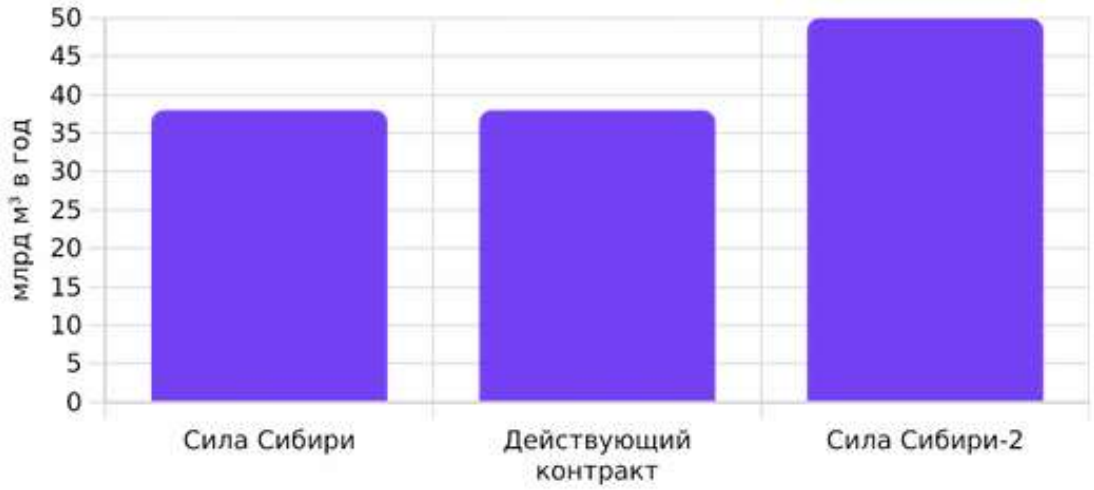


Рис. 1. Элементы экспортного контура, согласно проектной мощности

В последние годы ООО «Газпромтранс» сформировался не только как восточный экспортный канал, но и стал ориентиром для всей восточной транспортной логистики. Через его показатели выстраиваются перспективные объёмы грузоперевозок, планируется развитие объектов инфраструктурного комплекса Восточного полигона железных дорог, формируются планы взаимодействие с дочерними структурами подразделениями железнодорожного транспорта, что позволяет эффективно планировать процессы добычи, транспортировки и сбыта. В таких условиях, поставка углеводородов требует точной координации работы железнодорожных станций, терминалов и диспетчерских систем ОАО «РЖД», для этого ООО «Газпромтранс» выступает не отдельным грузоперевозчиком, а звеном интегрированной цепи, где важны ритм, безопасность и технологическая дисциплина.

Рост погрузки по Восточному полигону указывает на усиление восточного логистического коридора и необходимость дальнейшего развития пропускной способности, рис. 2 [1, 2, 4].

Статистика продолжительности производственных операций, включенных в технологическую цепочку, позволила определить на каких этапах возникают задержки, потери времени и отклонения от плановых (нормативных) значений при обработке наливных грузов. Представленная в Таблице сводка показывает, как отдельные технологические звенья влияют на устойчивость перевозочного процесса, оборот подвижного

состава и финансовый результат участников перевозочного процесса на Восточном полигоне [8–11].

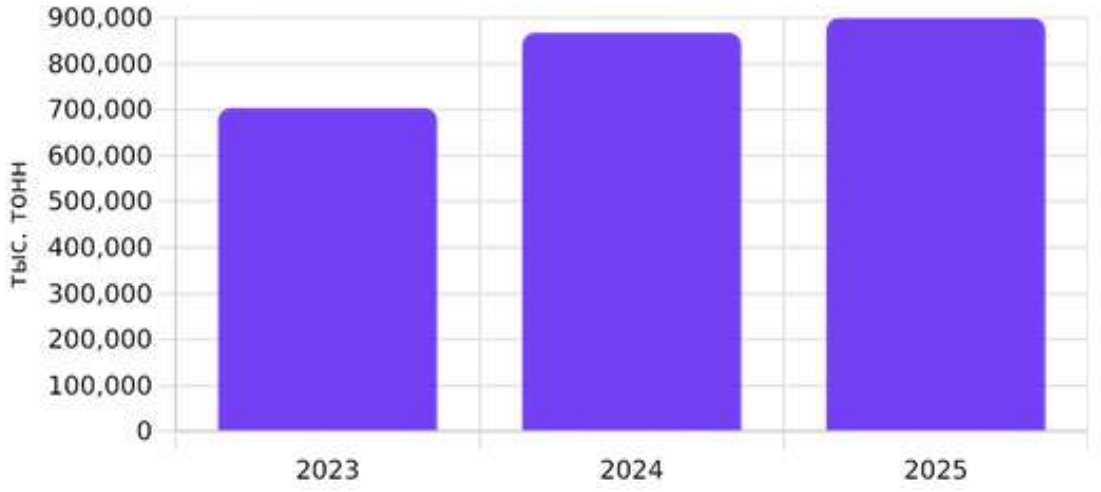


Рис. 2. Динамика погрузки

Таблица

Динамика показателей работы

Элемент перевозочного процесса	Содержание элемента	Результаты влияния	
		на эксплуатацион-ную работу железных дорог	на финансовый результата участников перевозочного процесса
Установленная система организации движение поездов	Порядок проследования	Ритм работы сети	Экономическая имеримость
Организация работы железнодорожных станций и узлов	Прием, отправление, переработка	Неграфковые простои, ускорение продвижения груза	Выпадающие доходы
Порядок организации поездопотоков	Порожнее следование, гружёное	Оборот вагонного парка	Финансовая и экономическая (не) стабильность

Согласно десятибалльной шкале рассчитана условная значимость каждого фактора, применимо к условиям эксплуатации Восточного полигона (рис. 3) [1, 2, 4, 10].

Наибольший эффект для ООО «Газпромтранс» дают достаточность инфраструктурного комплекса, безопасность и автоматизация, которые и определяют устойчивость перевозок в условиях сезонных колебаний.

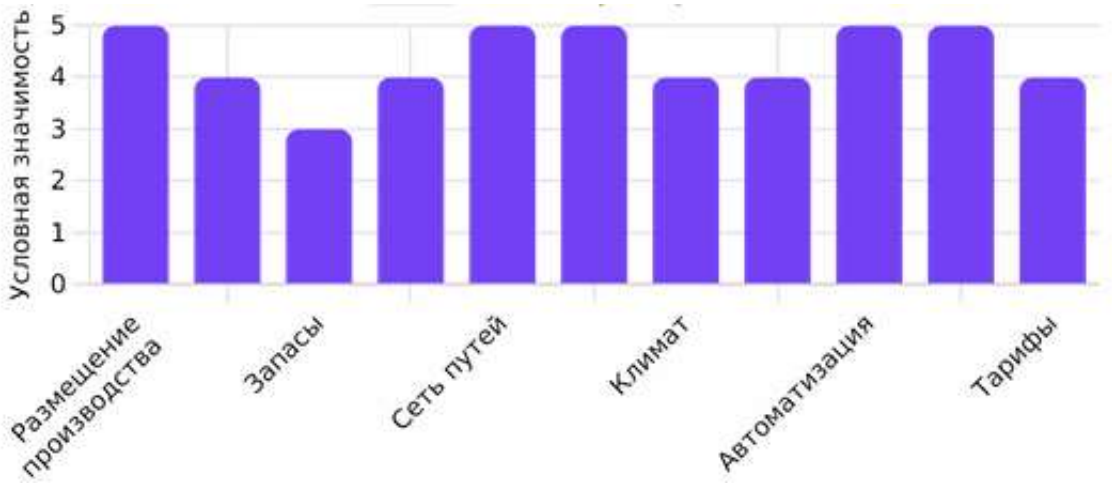


Рис. 3. Группы факторов, влияющих на организацию перевозок с указанием степени значимости

Ситуационный анализ позволил выявить наиболее значимые аспекты, ограничивающие формирование устойчивого восточного экспортного контура, которые выстроены по степени значимости:

1. Неритмичность планирования железнодорожных грузоперевозок. Фактические объемы перевозок нефтепродуктов в течение года не имеют стабильной динамики, а колеблются по месяцам, отклоняясь от плановых показателей на 5–13 %. Данный факт указывает на низкую степень устойчивости логистики полигона и зависимость графика движения поездов от краткосрочных и среднесрочных производственных, а также внешних ограничений.

2. Сезонные колебания. Весенний и летний периоды имеют снижение объемов до 30–40 %, декабрь, наоборот, характеризуется пиковыми размерами транспортировки, что отражает внутригодовую неравномерность спроса, ограниченную адаптацию к сезонности. Без применения схемы гибкого планирования грузопотока холдинг компенсирует внутригодовые колебания за счет запасов времени и ресурсов.

3. Восточное ограничение движения. Железные дороги Восточного полигона остаются «узким местом», по причине высокой загрузки объектов инфраструктурного комплекса, ограниченной скорости движения поездов, которая вызвана наличием большого количества лимитирующих участков. Данные факторы снижают пропускную мощность, что затрудняет выполнение плановых показателей всеми участниками перевозочного процесса.

4. Оборот вагонного парка. Вагоны находятся под начально-конечными операциями сверх установленных норм, что снижает время

оборота, тем самым увеличивает потребность в подвижном составе и расходы на его содержание.

5. Мультимодальные риски. Зависимость перевозочного цикла от работы морских портов усиливает степень влияния природно-климатических факторов, фрахтового рынка и готовности терминально-складских комплексов, что временно снижают экспортную активность.

Библиографический список

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р]. – Доступ из справ.-правов. системы КонсультантПлюс в локал. сети. – Текст : электронный.

2. Динец, Д. А. Пороки мировой финансовой системы как тормоз экономического прогресса: пути преодоления / Д. А. Динец // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 8. – С. 57–62. – Текст : непосредственный.

3. Динец, Д. А. Система институциональных механизмов инфляционного перераспределения общественного капитала / Д. А. Динец // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4(44). – С. 172–181. – Текст : непосредственный.

4. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. – URL : http://www.rzd.ru. – Текст : электронный.

5. Деятельность Восточно-Сибирского территориального центра фирменного транспортного обслуживания : официальный сайт «РЖД». – URL : https://company.rzd.ru/ru/9349 (дата обращения: 27.06.2026). – Текст : электронный.

6. Бубнов, В. А. Влияние транспортной инфраструктуры на развитие Сибирского федерального округа / В. А. Бубнов, Ю. Н. Гольская. – Иркутск, 2013. – Текст : непосредственный.

7. Бубнов, В. А. Формирование экономической привлекательности Сибирского федерального округа / В. А. Бубнов. – Иркутск, 2009. – Текст : непосредственный.

8. Бажина, Д. Б. Формирование показателей оценки эффективности работы транспортной компании / Д. Б. Бажина, Г. В. Поваров // Транспортное дело России. – 2019. – № 6. – С. 29–31. – Текст : непосредственный.

9. Власова, Н. В. Совершенствование процессов транспортно-логистического бизнес-блока по реализации проекта предоставления комплекса услуг / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич // Образование – Наука – Производство : материалы VI Всероссийской научно-

практической конференции. В 2-х томах, Чита, 18 ноября 2022 г. Том 1. – Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский университет путей сообщения», 2022. – С. 262–270. – Текст : непосредственный

10. Оленцевич, В. А. Методическое и программное обеспечение прогнозирования значений уровня безопасности функционирования железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко. – Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2019. – 172 с. – ISBN 978-5-98710-373-9. – Текст : непосредственный

11. Оленцевич, В. А. Задачи приспособления транспортной инфраструктуры к новым технологиям / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2021. – № 8. – С. 189–190. – Текст : непосредственный

Сведения об авторе:

Оленцевич Виктория Александровна, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Россия, olencevich_va@mail.ru.

Павлов Е. С., Савицкий Р. М., Матвейчук Н. М.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ К АНАЛИЗУ СТРАТЕГИЙ ПОИСКА ПАССАЖИРОВ В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ТАКСИ

В статье рассматривается задача выбора рациональной стратегии поиска пассажиров водителем городского такси с использованием аппарата теории массового обслуживания. На основе реального массива данных поездок такси в Нью-Йорке построены и параметризованы модели СМО типа M/M/1 и M/M/c для различных поведенческих сценариев. Предложена гибридная стратегия, основанная на пороговом значении уровня конкуренции, минимизирующая вероятность простоя водителя.

Ключевые слова: теория массового обслуживания, M/M/1, M/M/c, вероятность простоя, оптимизация стратегии такси, интенсивность входного потока, горячие зоны, параметризация по данным.

В условиях интенсивного городского движения эффективность работы водителя такси во многом определяется выбором стратегии поиска пассажиров после завершения поездки. Время движения без пассажира

приводит к снижению выручки, увеличению расхода топлива и росту общей неэффективности транспортной системы. Несмотря на практическую значимость данной проблемы, формальных подходов к сравнению поведенческих стратегий водителя на основе реальных данных в литературе разработано недостаточно: существующие исследования, как правило, либо ограничиваются качественными рекомендациями, либо применяют аналитические модели теории массового обслуживания без адаптации к конкретным эмпирическим условиям.

В настоящей работе применялись модели теории массового обслуживания M/M/1 и M/M/c для количественного анализа стратегий поиска пассажиров водителем такси. Ключевой особенностью является разработка процедуры извлечения параметров $\lambda(z,h,d)$ и $\mu(z)$ непосредственно из эмпирического датасета, а также адаптация классических моделей ТМО [1] к задаче выбора стратегии поведения водителя в городской среде.

Целью данной работы является оптимизация стратегии поиска пассажиров водителем такси на основе разработанной методики [7, 8] параметризации моделей теории массового обслуживания по реальным данным о поездках. Объектом исследования является процесс поиска и обслуживания пассажиров в городской системе такси. Предметом исследования являются стратегии поведения водителя такси после завершения поездки: ожидание на стоянке, свободное крейсирование, движение в зоны повышенного спроса и гибридная стратегия переключения между ними.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– разработана методика вычисления параметров $\lambda(z,h,d)$ и $\mu(z)$ из сырых данных о поездках NYC Yellow Taxi Trip Data за январь 2024 года;

– предложена формализация пяти поведенческих стратегий водителя в терминах конфигураций СМО M/M/1 и M/M/c [1, 2];

– выполнен сравнительный анализ стратегий по показателям ρ, P_0, L_q и W_q;

– аналитически определён порог переключения c* для гибридной стратегии S_5;

– выявлены пространственно-временные закономерности пассажиропотока, определяющие оптимальный выбор зоны и момента поиска пассажиров.

В качестве исходных данных использован открытый датасет NYC Yellow Taxi Trip Data за январь 2024 года, содержащий 2 964 624 записи о поездках. Для обработки данных и вычисления параметров моделей применялись Python, библиотеки pandas и NumPy, а также среда Jupyter

Lab. В работе не использовались методы машинного обучения: параметры моделей определялись непосредственно из статистических характеристик наблюдаемого пассажиропотока.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная методика параметризации моделей ТМО [4, 5] по историческим данным воспроизводима для других городов и временных периодов. Полученные результаты позволяют на основе архивных данных о поездках формировать рекомендации по выбору зоны ожидания или направления движения после завершения поездки, что может быть полезно как для отдельных водителей, так и для диспетчерских служб и агрегаторов.

Водитель такси начинает смену в произвольной точке города. Перед ним стоит выбор стратегии поиска пассажиров: ожидать в очереди на стоянке, крейсировать по городу в поисках голосующих, целенаправленно двигаться в районы с высоким спросом или комбинировать эти подходы. Каждое решение влияет на выручку, расход топлива и время ожидания.

Дано: датасет NYC Yellow Taxi Trip Data (январь 2024). Для каждой поездки известны:

место и время посадки: PULocationID, tpep_pickup_datetime;

место и время высадки: DOLocationID, tpep_dropoff_datetime;

расстояние поездки: trip_distance;

итоговая сумма: total_amount.

Город разбит на 263 таксозоны NYC TLC.

Найти: оптимальную стратегию S^* из множества $\{S_1, \ldots, S_5\}$, минимизирующую вероятность простоя:

$$S^* = argmin_{s \in S} P_0(S) \quad (1)$$

Рассматриваемые стратегии:

– S_1 – ожидание на стоянке в очереди;

– S_2 – свободное крейсирование по городу;

– S_3 – целенаправленное движение в горячие зоны;

– S_4 – временно-зональная адаптация, то есть выбор разных зон по часам суток;

– S_5 – гибридная стратегия: ожидание на стоянке при малой очереди и переключение на S_3 при росте числа конкурентов.

Для решения необходимо рассчитать:

– интенсивность входного потока λ(z,h,d) по каждой зоне z, часу h и дню недели d;

– интенсивность обслуживания μ(z), то есть среднее число поездок в час из зоны z;

– коэффициент загрузки ρ и вероятность простоя P_0 для каждой стратегии;

– характеристики СМО L, L_q, W и W_q;

– пороговое число конкурентов c* для гибридной стратегии S_5 .

Система массового обслуживания в данной задаче определяется следующим образом.

Таблица 1

Соответствие терминов СМО и задачи

Термин СМО	Обозначение	Смысл в задаче	Вычисление из датасета
Входной поток	λ(z,h,d)	Пассажиров/час в зоне z, час h, день d	Число записей с PULocationID = z за час h / число таких дней
Интенсивность обслуживания	μ(z)	Поездок/час из зоны z	1 / E[tpep_dropoff − tpep_pickup]
Коэффициент загрузки	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	Доля времени такси занято с пассажиром	Аналитически
Вероятность простоя	P_0	Вероятность ехать без пассажира	По формулам M/M/1 или M/M/c
Число каналов	c	Число такси на стоянке	Параметр модели

Поток пассажиров моделируется как пуассоновский, что является стандартным допущением для транспортных задач и отражает независимость появления пассажиров в городской среде. Время поездки моделируется показательным распределением.

Стратегии S_2 , S_3 , S_4 – модель M/M/1. Одно такси, т. е. один обслуживающий канал, обслуживает поток пассажиров в выбранной зоне:

$$\rho = \frac{\lambda(z,h,d)}{\mu(z)}, \rho < 1 \quad (2)$$

$$P_0 = 1 - \rho \quad (3)$$

$$L = \frac{\rho}{(1-\rho)}, \quad L_q = \frac{\rho^2}{(1-\rho)} \quad (4)$$

$$W = \frac{1}{(\mu - \lambda)} \quad (5)$$

$$W_q = \frac{\rho}{(\mu - \lambda)} = \frac{\lambda}{\big(\mu(\mu - \lambda)\big)} \quad (6)$$

где L – среднее число пассажиров в системе, L_q – среднее число ожидающих, W – среднее время пассажира в системе, W_q – среднее время ожидания.

Задача водителя – выбрать зону z* с максимальным отношением интенсивности входного потока к интенсивности обслуживания:

$$z^* = argmax_z \frac{\lambda(z,h,d)}{\mu(z)} \quad (7)$$

Стратегия S_1 – модель M/M/c. На стоянке с такси, т. е. с параллельных обслуживающих каналов, обслуживают общий поток пассажиров. Нагрузка на каждый канал определяется как:

$$\rho = \frac{\lambda}{(c \times \mu)} \quad (8)$$

Вероятность простоя определяется по формуле Эрланга:

$$P_0 = \frac{1}{\left[\Sigma_{k=0}^{C-1} \frac{(c \times \rho)^k}{k!} + \frac{(c \times \rho)^c}{\big(c!\,(1 - \rho)\big)}\right]} \quad (9)$$

Среднее число заявок в очереди и время ожидания рассчитываются следующим образом:

$$L_q = \frac{(c \times \rho)^c \times \rho}{c! \times (1-\rho)^2} \times P_0 \quad (10)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (11)$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (12)$$

Гибридная стратегия предполагает, что водитель сравнивает вероятность простоя при ожидании на стоянке с вероятностью простоя при движении в горячую зону. Переключение на стоянку возможно, если выполняется условие:

$$P_0^{\frac{M}{M}^c}(c) < P_0^{\frac{M}{M}^1}(z^*) \quad (13)$$

Из этого неравенства определяется порог c* – максимальное число конкурентов, при котором ожидание на стоянке ещё может рассматриваться как допустимая стратегия.

Датасет NYC Yellow Taxi (январь 2024) содержит 2 964 624 записи. После очистки удалено 4,4 % записей с некорректными значениями длительности поездки менее 1 минуты или более 120 минут, нулевым расстоянием и отрицательной выручкой. Итоговая выборка составила 2 832 942 поездки.

Обработка данных и расчёт параметров моделей выполнялись с применением языка Python. Для загрузки, фильтрации и агрегации данных применялась библиотека pandas, для численных вычислений – NumPy, для построения графиков и тепловых карт – matplotlib и seaborn. Работа с временными признаками выполнялась на основе полей tpep_pickup_datetime и tpep_dropoff_datetime. В качестве среды выполнения расчётов использовалась Jupyter Lab.

При подготовке данных была не только выполнена очистка датасета, но и доработана процедура оценки параметров моделей ТМО применительно к задаче поиска оптимальной стратегии водителя. В частности, интенсивность входного потока λ(z,h,d) оценивалась в разрезе зоны, часа суток и дня недели, а интенсивность обслуживания μ(z) – по средней длительности поездок из конкретной зоны. Такое разбиение позволило учесть пространственно-временную неоднородность спроса и использовать полученные параметры для сравнительного анализа стратегий S_1-S_5.

На этапе предварительной обработки для каждой поездки рассчитывалась длительность:

$$T_{\text{i}} = t_i^{drop} - t_i^{pick} \quad (14)$$

где $t_{\text{i}}^{\text{drop}}$ – время завершения поездки, t_i^{pick} – время начала поездки.

Длительность переводилась в часы, так как интенсивности λ и μ в моделях СМО измеряются в поездках или пассажирах в час. Из выборки исключались записи с длительностью менее 1 минуты или бо-

лее 120 минут, с нулевым расстоянием поездки, отрицательной выручкой, а также записи с некорректными значениями зон посадки.

Для каждой поездки дополнительно выделялись:

– зона посадки z = PULocationID;

– час суток h из поля tpep_pickup_datetime;

– день недели d из поля tpep_pickup_datetime.

Интенсивность входного потока пассажиров для зоны z, часа h и дня недели d рассчитывалась как среднее число посадок в соответствующем временно-зональном интервале:

$$\lambda(z,h,d) = \frac{N(z,h,d)}{n(d)} \quad (15)$$

где N(z,h,d) – число поездок, начавшихся в зоне z в час h и день недели d, n(d) – число дней данного типа в январе 2024 года. Например, если рассматривается понедельник, то количество посадок в заданной зоне и часу делится на число понедельников в месяце.

Интенсивность обслуживания для зоны z рассчитывалась как величина, обратная средней длительности поездки из этой зоны:

$$\mu(z) = \frac{1}{\bar{T}(z)} \quad (16)$$

$$\bar{\mathrm{T}}(\mathrm{z}) = \left(\frac{1}{\mathrm{N}(\mathrm{z})}\right) \times \sum_{i=1}^{N(z)} T_i \quad (17)$$

где $\bar{\mathrm{T}}(\mathrm{z})$ – средняя длительность поездки из зоны z, выраженная в часах. Таким образом, μ(z) показывает, сколько поездок в среднем может быть выполнено за один час при старте из данной зоны.

Для повышения статистической надёжности оценки μ(z) учитывались только зоны, в которых было не менее 30 поездок. После такой фильтрации осталось 221 зона из 263.

Коэффициент загрузки для модели M/M/1 рассчитывался по формуле

$$\rho(z,h,d) = \frac{\lambda(z,h,d)}{\mu(z)} \quad (18)$$

Так как стационарная модель M/M/1 применима при условии ρ < 1, зоны с максимальным значением ρ рассматривались как наиболее при-

влекательные для водителя, поскольку при ρ, близком к 1, вероятность простоя минимальна. Вероятность простоя для модели M/M/1 определялась как:

$$P_0 = 1 - \rho \quad (19)$$

Для стратегии движения в горячие зоны оптимальная зона для каждого часа и дня недели выбиралась по правилу:

$$z^* = argmax_z \frac{\lambda(z,h,d)}{\mu(z)} \quad (20)$$

Для стратегии свободного крейсирования использовались усреднённые значения λ и μ по доступным зонам. Для стратегии ожидания на стоянке применялась модель M/M/c, где c означает число такси, одновременно ожидающих пассажиров на стоянке. Вероятность простоя в этом случае рассчитывалась по формуле Эрланга, приведённой в разделе формализации модели.

Параметры модели после обработки данных:

– средняя интенсивность обслуживания: μ = 2,58 поездок/час;

– средняя длительность поездки: 14,9 минуты, медиана – 11,7 минуты;

– максимальная интенсивность входного потока: λ_{max} = 5,333 пассажира/час, зона 141, 4:00;

– средняя λ по всем зонам и часам: 0,745 пассажира/час.

Анализ λ(z,h,d) выявил зоны с максимальной загрузкой по каждому часу суток. Коэффициент загрузки в лучших зонах достигает ρ = 0,997 – 0,999, что соответствует практически нулевому простою водителя. В сводном сравнении по стратегии S_3 использовано значение ρ = 0,992, при котором вероятность простоя составляет P_0 = 0,008.

Таблица 2

Характеристики СМО по стратегиям M/M/1

Стратегия	λ, пасс./час	μ, поездок/час	ρ	P_0	Wq, мин
S_3 – горячая зона	3,005	3,030	0,992	0,008	–
S_2 – случайная зона	0,745	2,577	0,291	0,709	9,48

Таблица 3

Характеристики M/M/c для стратегии S_1

c, такси на стоянке	ρ на 1 такси	P_0	Lq	Wq, мин
1	0,340	0,660	–	–
2	0,170	0,709	0,601	12,00
3	0,113	0,712	0,084	1,68
10	0,034	0,712	≈ 0	≈ 0

Таблица 4

Сравнение стратегий по P_0

Стратегия	Модель	P_0	Изменение относительно S_3
S_3 – горячие зоны	M/M/1	0,008	оптимум
S_2 – случайное крейсирование	M/M/1	0,709	+70,1 п.п.
S_1 – стоянка, $c \geq 2$	M/M/c	0,709–0,712	+70,1–70,4 п.п.

Аналитически установлено: $c^* = 1$. Стоянка может рассматриваться только в случае, если водитель находится на ней один и отсутствует очередь из других такси. При появлении хотя бы одного конкурента вероятность простоя стоянки возрастает до уровня 0,709–0,712, поэтому рациональным решением становится переключение на движение в горячую зону.

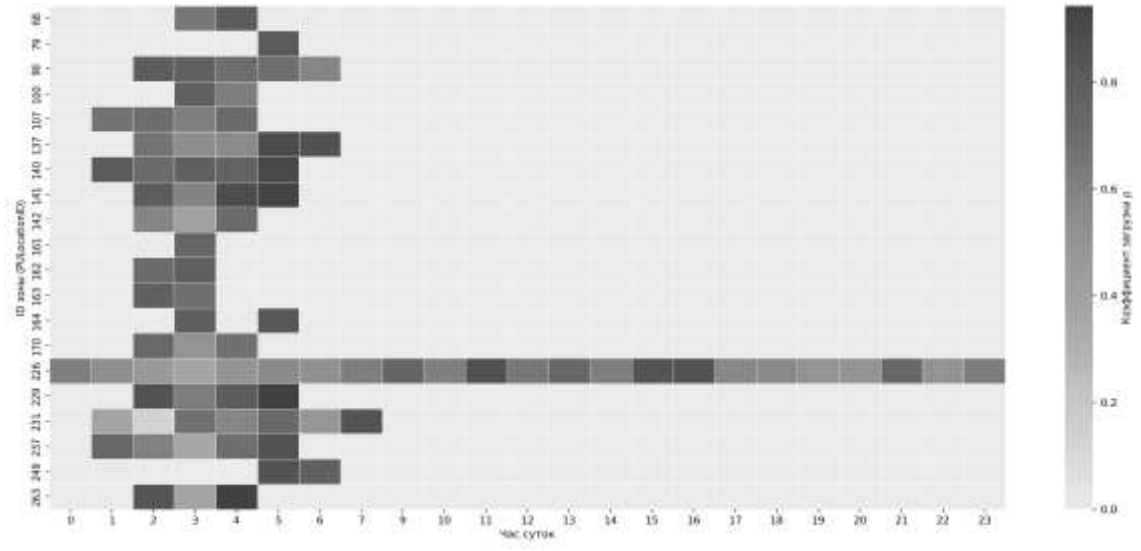


Рис. 1. Тепловая карта коэффициента загрузки ρ: топ-20 зон × час суток

На рис. 1 представлена тепловая карта коэффициента загрузки $\rho = \lambda/\mu$ для двадцати наиболее загруженных зон в разбивке по часам суток. Тёмно-красный цвет соответствует максимальной загрузке, светло-жёлтый – минимальной.

Из рисунка видно, что высокая загрузка сосредоточена в ночные и ранние утренние часы, с 0:00 до 7:00. Это объясняется тем, что в ночное время общее число активных такси сокращается, тогда как спрос в развлекательных районах сохраняется, поэтому соотношение λ/μ возрастает. В дневное время загрузка распределяется более равномерно по большему числу зон, что снижает максимальное достижимое ρ для отдельного водителя. Таким образом, тепловая карта показывает, что оптимальное время и место поиска пассажиров существенно зависят от часа суток, что и является основой стратегии S_3 .

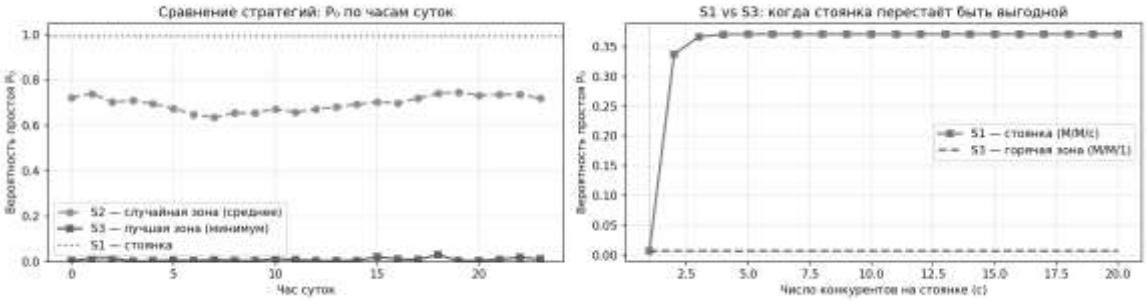


Рис. 2. Сравнение стратегий по P_0 и порог переключения c*

На рис. 2 левый график показывает динамику вероятности простоя P_0 в течение суток для трёх стратегий. Стратегия S_1, соответствующая ожиданию на стоянке, даёт практически постоянный $P_0 \approx 0{,}712$ независимо от времени суток, поскольку водитель на стоянке не может использовать всплески спроса в конкретных зонах. Стратегия S_2 , соответствующая случайному крейсированию, показывает умеренный результат $P_0 \approx 0{,}709$ со слабыми колебаниями по часам. Стратегия S_3, основанная на движении в горячие зоны, устойчиво обеспечивает минимальный P_0 во все часы суток, особенно в период с 0:00 до 7:00, когда P_0 опускается до 0,001–0,005.

Правый график демонстрирует зависимость P_0 стратегии S_1 от числа такси с на стоянке. При c = 1 стоянка имеет $P_0 = 0{,}660$ и является лучшим вариантом внутри стратегии ожидания. Однако уже при c = 2 вероятность простоя возрастает до 0,709 и далее практически не улучшается с ростом c: кривая выходит на плато $P_0 \approx 0{,}712$. Поэтому значение c* = 1 рассматривается как порог, после которого водителю следует переключаться на стратегию S_3.

В работе предложен подход к анализу стратегий поиска пассажиров в системе городского такси на основе моделей теории массового обслуживания, параметризованных по реальным данным поездок. В отличие от использования усреднённых или заранее заданных параметров, интенсивности входного потока $\lambda(z,h,d)$ и обслуживания $\mu(z)$ были оценены непосредственно из датасета NYC Yellow Taxi Trip Data с учётом зоны, часа суток и дня недели. Такая параметризация позволила учитывать пространственно-временную неоднородность спроса при сравнении стратегий поведения водителя.

Проведённый анализ показал, что стратегии существенно различаются по вероятности простоя P_0. Для стратегии движения в зоны повышенного спроса значения P_0 оказались на порядок ниже, чем для свободного крейсирования и ожидания на стоянке при наличии нескольких конкурирующих такси. Дополнительно получено аналитическое выражение для определения порога переключения c^*, позволяющего формализовать момент перехода от ожидания на стоянке к движению в горячую зону.

Полученные результаты демонстрируют, что адаптация моделей M/M/1 и M/M/c к данным городской мобильности позволяет не только описывать процесс обслуживания пассажиров, но и количественно сравнивать поведенческие стратегии водителя. Разработанная методика может быть воспроизведена для других городов и временных периодов и использована при формировании рекомендаций для водителей и транспортных платформ на основе исторических данных.

Библиографический список

1. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок [перевод с английского И. И. Грушко] ; под редакцией В. И. Неймана. – Москва : Машиностроение, 1979. – 432 с. – Текст : непосредственный.

2. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – Москва : Наука, 1988. – 208 с. – Текст : непосредственный.

3. NYC Open Data. NYC Yellow Taxi Trip Data. – URL : https://opendata.cityofnewyork.us (дата обращения: 12.02.2026 г.). – Текст : электронный.

4. Применение теории системы массового обслуживания в эффективном использовании международных транспортных коридоров региона. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-teorii-sistemy-massovogo-obsluzhivaniya-v-effektivnom-ispolzovanii-mezhdunarodnyh-transportnyh-koridorov-regiona (дата обращения: 04.06.2026 г.). – Текст : электронный.

5. Применение теории системы массового обслуживания в транспортной сфере. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-teorii-sistemy-massovogo-obsluzhivaniya-v-transportnoy-sfere (дата обращения: 04.06.2026 г.). – Текст : электронный.

6. Теория массового обслуживания в задачах оптимизации. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-massovogo-obsluzhivaniya-v-zadachah-optimizatsii (дата обращения: 04.06.2026 г.). – Текст : электронный.

7. Славинский, В. В. Практическое применение теории массового обслуживания / В. В. Славинский, В. П. Чижик. – URL : https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/58674/1/Slavinskij_Prakticheskoe.pdf (дата обращения: 04.06.2026 г.). – Текст : электронный.

8. Теория массового обслуживания. – URL : https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/233291/1/Теория%20массового%20обслуживания.pdf (дата обращения: 04.06.2026 г.). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Павлов Евгений Сергеевич, студент факультета инженерно-экономического, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, email: evgeny310805@gmail.com ;

Савицкий Руслан Михайлович, студент факультета инженерно-экономического, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, email: savickiy.ruslan@gmail.com ;

Матвейчук Наталья Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экономической информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, email: matsveichuk.asup@bsatu.by.

Раевская П. Е., Юань Н.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ТРАНСПОРТЕ: ВНЕДРЕНИЕ, БЕЗОПАСНОСТЬ И МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Статья посвящена анализу внедрения технологий искусственного интеллекта в транспортную отрасль как одного из ключевых драйверов четвертой промышленной революции. Рассмотрены три основных вектора применения искусственного интеллекта: беспилотные транс-

портные средства, оптимизация дорожного движения и предиктивное обслуживание инфраструктуры. Выявлены системные риски и предложены меры по их минимизации. Обоснована необходимость гармонизации международного регуляторного поля и межстрановой кооперации для трансформации транспорта в высокоэффективную, безопасную и экологичную систему.

Ключевые слова. Транспорт, транспортная логистика, беспилотные автоматизированные системы, искусственный интеллект

Транспортная отрасль сегодня находится на пороге четвертой промышленной революции. Искусственный интеллект перестает быть футуристической концепцией и становится реальным инструментом повышения эффективности, экологичности и безопасности перевозок. Основная цель внедрения искусственного интеллекта на транспорте – минимизация «человеческого фактора», который является причиной более 90 % дорожно-транспортных происшествий.

Внедрение искусственного интеллекта в транспортную экосистему происходит по ключевым векторам, представленным на рис. 1.



Рис. 1. Ключевые векторы внедрения искусственного интеллекта в транспортную экосистему

В рамках первого направления осуществляется разработка беспилотных транспортных средств. Применение технологий искусственного интеллекта обеспечивает возможность распознавания объектов, прогно-

зирования траекторий движения других участников и принятия решений в режиме реального времени при нестандартных дорожных ситуациях.

Алгоритмы машинного обучения (второй вектор) используются для оптимизации работы светофорных объектов, краткосрочного прогнозирования заторовых состояний и функционирования систем «умного города». Реализация данных подходов способствует сокращению времени перемещения транспортных средств и снижению эмиссии вредных веществ.

В рамках третьего вектора исследований применение методов искусственного интеллекта для анализа технического состояния узлов транспортных средств и элементов транспортной инфраструктуры позволяет осуществлять прогнозирование отказов оборудования до момента их фактической реализации. Указанный подход обеспечивает существенное сокращение продолжительности простоев и снижение эксплуатационных издержек, связанных с проведением ремонтных работ (рис. 2).

Тем не менее, несмотря на наличие очевидных преимуществ, повсеместное внедрение технологий искусственного интеллекта сопряжено с генерацией новых классов рисков (рис. 2).

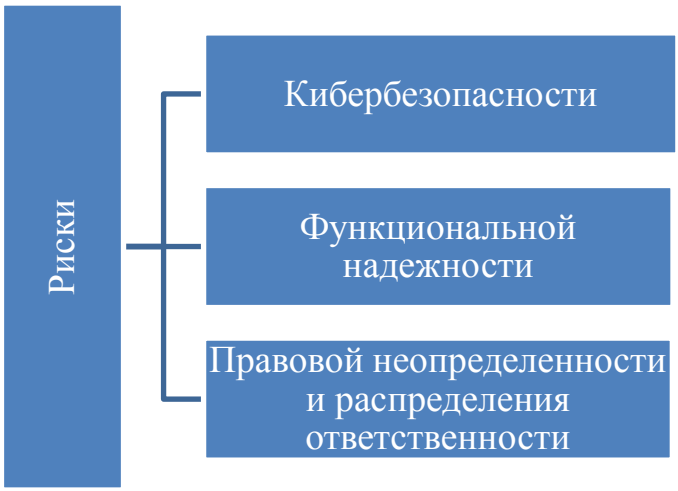


Рис. 2. Риски внедрения технологий искусственного интеллекта

Для минимизации приведенных рисков предлагается комплекс мер обеспечения безопасности, включающий:

– тестирование и сертификацию систем на базе искусственного интеллекта;

– резервирование критических подсистем;

– шифрование передаваемых и хранимых данных, а также реализацию защиты от кибератак;

– разработку отраслевых стандартов и нормативно-технических документов.

Транснациональный характер транспортной деятельности обуславливает объективную необходимость в формировании унифицированного глобального регуляторного поля для реализации технологий искусственного интеллекта. В качестве ключевых векторов международного сотрудничества, направленных на обеспечение совместимости и безопасного функционирования интеллектуальных транспортных систем, целесообразно выделить следующие:

– консолидация и трансграничный трансфер знаний (систематический обмен передовым опытом, научно-методологическими наработками и лучшими практиками в области внедрения искусственного интеллекта);

– нормативно-правовая унификация (целенаправленная гармонизация технических стандартов, протоколов и нормативной базы для обеспечения совместимости систем и снижения барьеров для инноваций);

– коллаборативные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) (развитие совместных НИОКР, ориентированных на создание технологий автономного транспорта и интеллектуальных транспортных систем;

Развитие кадрового потенциала (формирование глобальных программ по подготовке высококвалифицированных специалистов и повышению уровня общей грамотности в области искусственного интеллекта для транспортного сектора);

– формирование инфраструктуры данных (создание защищенных международных платформ для обмена данными, функционирующих в строгом соответствии с принципами обеспечения конфиденциальности и защиты персональных данных).

На основе поведенного анализа можно сформулировать следующие ключевые рекомендации для стейкхолдеров в сфере интеллектуальных транспортных систем (см. Таблицу).

Примеры реализации технологий искусственного интеллекта на транспорте представлены ниже:

1. Железнодорожный транспорт – внедрение систем компьютерного зрения на маневровых локомотивах и электропоездах серии «Ласточка» (рис. 3).

Введение беспилотного управления на станции Лужская с последующей адаптацией технологии на станции Челябинск – Главный. На Байкало-Амурской магистрали проводились испытания технологии машин-

ного зрения в условиях Крайнего Севера на базе сервисного депо Тында – Северная.

2. Логистика – автопилотируемые грузовые автомобили на разных трассах.

3. Авиация – предиктивные обслуживание (проактивный подход). Прогнозное обслуживание воздушных судов представляет собой проктивную стратегию технической эксплуатации, основанную на использовании данных реального времени и исторических трендов для прогнозирования потенциальных отказов компонентов или необходимости их модернизации (рис. 4).

Таблица

Рекомендации в сфере интеллектуальных транспортных систем

Для государственных органов	Для бизнеса	Для международного сообщества
– разработка и принятие комплексной национальной стратегии по внедрению и развитию технологий искусственного интеллекта в транспортной отрасли;	– внедрение технологий искусственного интеллекта на основе поэтапного подхода, инициируемого с проведением всестороннего анализа бизнес-потребностей и оценки потенциального эффекта;	– активизация деятельности по гармонизации технических стандартов, нормативной правовой базы и протоколов межсистемного взаимодействия для обеспечения глобальной интероперабельности;
– создание и институционализация национальной системы сертификации, валидации и тестирования систем для обеспечения их безопасности и соответствия установленным стандартам; – формирование механизмов государственной поддержки для стимулирования международного сотрудничества, включая обмен лучшими практиками и гармонизацию подходов; – развитие и финансирование образовательных программ, направленных на подготовку и повышение квалификации специалистов транспортной отрасли в области искусственного интеллекта	– приоритетное инвестирование в создание и развитие комплексной системы управления данными как фундаментальной базы для эффективной работы решений; – развитие партнерских отношений и кооперации с научными институтами и технологическими стартапами для доступа к передовым разработкам	– инициирование и реализация совместных пилотных проектов для апробации технологий в различных юрисдикциях; – создание защищенных международных платформ для обмена деперсонализированными данными, аналитическими отчетами и научно-практическим опытом

К основным технологиям предиктивного обслуживания можно отнести: датчики интернета вещей, машинное обучение, цифровые двойники. Облачные платформы, периферийные вычисления.



Рис. 3. Пример установки системы компьютерного зрения в электропоезде «Ласточка»

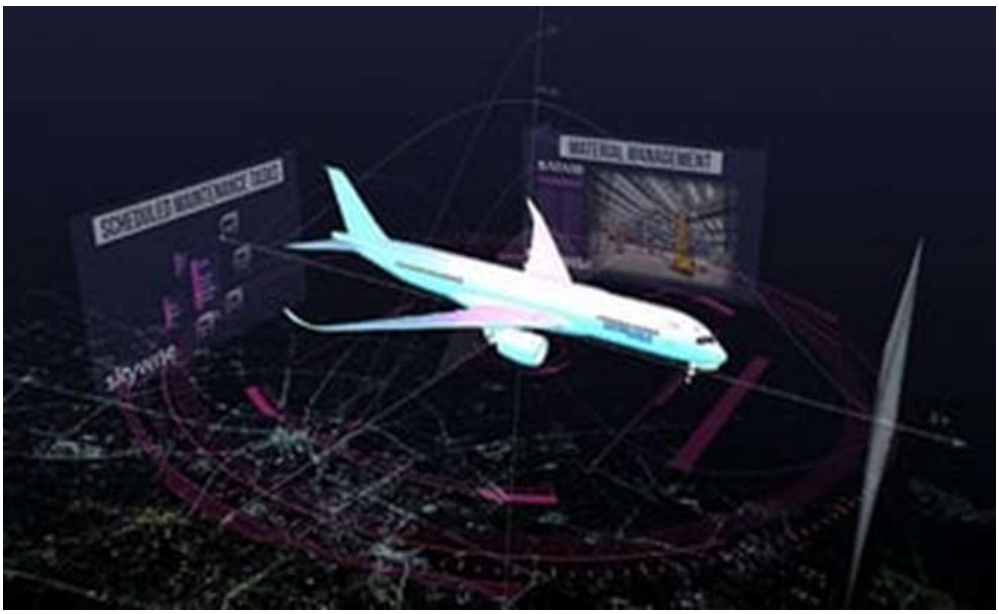


Рис. 4. Пример предиктивного обслуживания

4. Беспилотные летательные аппараты с искусственным интеллектом – повышает автономность, эффективность и точность целевых задач за счет анализа данных с сенсоров, принятия решений, распознавания

объектов, пространственной ориентации и адаптации к изменяющимся условиям (дрон-перехватчик «Елка», дрон «Бабай»).

Интеграция технологий искусственного интеллекта в транспортную отрасль представляет собой ключевой драйвер повышения ее эффективности, безопасности и экологичности. Тем не менее, успешная реализация его потенциала требует комплексного подхода, охватывающего разработку надежных алгоритмов, создание нормативно-правовой базы, международное сотрудничество и подготовку квалифицированных кадров.

Перспективными векторами развития являются технологии автономного транспорта, интеллектуальные транспортные системы и предиктивная аналитика. Ключевыми факторами данных решений выступают обеспечение высокого уровня безопасности, прозрачность алгоритмов приятия решений и согласованность регуляторных мер на национальном и международном уровнях.

Достижение целевых показателей по снижению аварийности до минимума напрямую зависит от синергии технологических инноваций и грамотного правового регулирования. Приведенные примеры демонстрируют превосходство автоматизированных систем над человеческим фактором в задачах управления и диагностики. Однако настоящий успех возможен лишь при условии тесной международной кооперации, направленной на гармонизацию стандартов и формирование единых правил обеспечения безопасности. Таким образом, консолидация усилий позволит трансформировать транспортную отрасль из автоматизированной в высокоэффективную и безопасную систему.

Библиографический список

1. Белая книга: искусственный интеллект в транспортной отрасли / Ассоциация «Альянс в сфере искусственного интеллекта». – Москва, 2025. – 277 с. – Текст : непосредственный.

2. Беспилотные технологии на железнодорожном транспорте / Официальный сайт ОАО «РЖД». – URL : https://company.rzd.ru. – Текст : электронный.

3. Перспективы развития беспилотных грузоперевозок на трассе М-11 «Нева» / Официальный портал ГК «Автодор». – URL : https://russianhighways.ru. – Текст : электронный.

4. TuSimple совершил первый в мире рейс без людей в кабине. – URL : https://www.tusimple.com. – Текст : электронный.

5. За качеством сборки на предприятиях ТМХ следит компьютерное зрение. – URL : https://tmholding.ru. – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Раевская Полина Евгеньевна, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Управление процессами перевозок», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, polina.volo@mail.ru ;

Юань Нана, студент ЭЖД.1-22-1, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия.

Ранюк С. А., Данилова М. Е., Брюханова П. Ю.

АДРЕСНОЕ ХРАНЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ СКЛАДСКОЙ ЛОГИСТИКИ

В статье обосновывается применение системы адресного хранения для оптимизации складских процессов. Раскрыты статическая и динамическая модели, этапы внедрения. Приведена система количественных показателей оценки оптимизационного эффекта (использование площади, точность учёта, производительность труда, оборачиваемость запасов). Проанализирован опыт российских и зарубежных компаний, а также роль цифровизации в повышении эффективности склада. Сделан вывод, что адресное хранение является базовым инструментом повышения эффективности склада.

Ключевые слова: адресное хранение, оптимизация складской логистики, WMS, оборачиваемость запасов, точность учёта, производительность склада, зонирование, цифровизация.

В условиях высокой конкуренции и роста требований к скорости выполнения заказов оптимизация складской логистики становится критическим фактором успеха. Одним из наиболее действенных и одновременно доступных инструментов такой оптимизации выступает адресное хранение [1, с. 112]. Суть метода заключается в присвоении каждому месту хранения (стеллаж, ячейка, пол) или каждой единице товара уникального идентификатора (адреса), который фиксируется в учётной системе. Это позволяет не просто «хранить товары», а управлять их размещением, перемещением и отбором с минимальными временными и пространственными потерями [5].

Адресное хранение реализуется в двух основных моделях. Первая – статическая модель, закрепляет за товаром постоянную ячейку её оптимизационный эффект ограничен: она упрощает учёт, но не позволяет адаптироваться к колебаниям запасов. Вторая – динамическая модель, управляемая WMS, при каждой приёмке самостоятельно назначает наиболее подходящее место на основе алгоритмов, учитывающих габариты, оборачиваемость, сезонность [2, с. 164]. Именно динамическая модель даёт максимальный оптимизационный эффект: сокращение путей комплектации до 50 %, повышение плотности хранения на 25–30 %.

Чтобы адресное хранение действительно работало как инструмент оптимизации, необходимо последовательное внедрение, включающее: а) диагностику текущих потерь; б) разработку адресной структуры (например, «зона/стеллаж/ярус/ячейка»); в) зонирование склада с выделением «горячих» и «холодных» зон; г) выбор WMS (для малых складов – 1С:Управление складом, для крупных – SAP EWM, а также специализированные решения, такие как «SEVCO WMS»); д) маркировку (штрих-коды, QR, RFID); е) обучение персонала [3, с. 78]. Без выполнения всех этапов адресное хранение превращается в формальную нумерацию ячеек без реальной оптимизации.

В различных источниках понятие «адресное хранение» трактуется сходным образом, но с разными акцентами, так, например одни определяют его как систему, при которой каждому месту хранения присваивается уникальный код, а другие – как метод размещения грузов с фиксированным или динамическим адресом, интегрированным в WMS; ГОСТ Р 59281-2020 закрепляет, что каждой единице хранения присваивается уникальный адрес из комбинации букв и цифр. Общим для всех определений является наличие уникальной адресации и связь с информационной системой склада.

Важным аспектом оптимизации складской логистики с помощью адресного хранения является цифровизация процессов, которая, в свою очередь, предъявляет новые требования к компетенциям специалистов. Процессы цифровизации в логистике ведут к изменению требований к профессии логиста: специалисты должны владеть не только традиционными навыками управления запасами и транспортом, но и IT-компетенциями, включая работу с WMS, TMS, технологиями штрихкодирования и RFID [4, с. 115–116].

Количественная оценка оптимизационного эффекта базируется на сравнении показателей «до» и «после» (см. Рисунок). Оценка оптимизационного эффекта производится путём сопоставления ключевых показателей до и после внедрения системы (см. Рисунок). Фиксируемый

прирост значений включает: коэффициент использования площади – с 0,4–0,5 до 0,65–0,75; точность учёта – с 95–97 % до 99,5 %; производительность труда комплектовщика возрастает на 40–60 %; оборачиваемость запасов ускоряется на 15–25 %; удельные складские издержки сокращаются на 10–20 %.



Рисунок. Система показателей оценки эффективности складского хозяйства

Отраслевые примеры иллюстрируют достижимость указанных величин. В Amazon динамическое назначение ячеек в рамках роботизированной системы Kiva обеспечивает прирост производительности на 40 %. Walmart применяет смешанную стратегию, комбинируя статическое и динамическое закрепление адресов, что позволяет перераспределять товарные потоки по сезонам и сокращать трудозатраты на комплектацию. Российский опыт: X5 Group на базе 1C:WMS с терминалами сбора данных уменьшила время приёмки на 30 % при снижении ошибок отбора до 0,5 %; в «Магните» использование RFID-меток и зонирование по оборачиваемости дали рост соответствующего показателя на 18 % [6].

Обобщение представленных практик позволяет формализовать алгоритм внедрения адресного хранения, включающий семь последовательных этапов (см. Таблицу), выполнение которых обеспечивает измеримый оптимизационный результат.

Таблица

Алгоритм внедрения адресного хранения на складе

Этап	Содержание работ	Ожидаемый результат
1. Диагностика	Аудит текущего состояния: измерение времени поиска товара, доли ошибок инвентаризации, процента использования площади	Цифровые базовые показатели «до внедрения»
2. Проектирование адресной структуры	Разработка формата адреса (например, «А-03-Б-12»: зона–стеллаж–ярус–ячейка). Утверждение правил кодирования	Унифицированная, понятная персоналу и системе схема адресации
3. Зонирование склада	Разделение склада на зоны по оборачиваемости (A, B, C), габаритам, температурным требованиям. Назначение адресных диапазонов для зон	Сокращение путей перемещения товаров на 30–50 %
4. Выбор и настройка WMS	Подбор системы управления складом (1С:WMS, SAP EWM, SEVCO WMS и др.). Настройка динамического назначения ячеек	Автоматическое присвоение адресов при приёмке и отгрузке
5. Маркировка мест хранения и товаров	Нанесение штрих-кодов / QR / RFID на стеллажи, ячейки, паллеты, единицы товара. Связывание меток с адресами в WMS	Возможность быстрого сканирования и контроля
6. Обучение персонала	Тренинги по работе с терминалами сбора данных, сканерами, интерфейсом WMS. Отработка операций приёмки, размещения, отбора	Снижение ошибок из-за человеческого фактора до 0,5 %
7. Пилотное внедрение и масштабирование	Запуск системы на одном участке склада (например, зона А). Сравнение показателей с базовыми. Корректировка алгоритмов. Распространение на весь склад	Подтверждение оптимизационного эффекта и полный переход на адресное хранение

Адресное хранение является базовым элементом в реализации концепции «Логистика 4.0». Применение сквозных цифровых решений – интернета вещей, технологий больших данных, облачных сервисов и RFID – трансформирует модель управления складом, смещая акцент с реактивных действий на прогнозную аналитику. Интеграция адресной системы с подсистемами прогнозирования спроса и автоматического пополнения запасов даёт снижение логистических издержек до 20 % и повышает надёжность планирования. Сдерживающим фактором выступает низкий уровень цифровой зрелости значительной части отече-

ственных предприятий, что обусловливает необходимость ступенчатой модернизации: начальный этап – внедрение адресного учёта, затем переход к полнофункциональной WMS и, наконец, использование аналитических инструментов больших данных и алгоритмов искусственного интеллекта для оптимизации размещения товаров [7, с. 203–204].

Библиографический список

1. Гаджинский, А. М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика : учебник для вузов / А. М. Гаджинский. – Издание 4-е, переработанное и дополненное. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 224 с. – Текст : непосредственный.

2. Тиверовский, В. И. Развитие складской логистики на современном этапе / В. И. Тиверовский // Сборник материалов конференции «Актуальные проблемы транспортной логистики». – Москва : Российский университет транспорта, 2024. – С. 161–168. – Текст : непосредственный.

3. Савин, В. И. Организация складской деятельности : учебное пособие / В. И. Савин. – Москва : Дело и сервис, 2021. – 544 с. – Текст : непосредственный.

4. Данилова, А. С. Формирование требований к компетенциям специалистов в сфере логистики в условиях цифровизации / А. С Данилова // Логистические системы в глобальной экономике. – 2020. – № 10. – С. 115–119. – Текст : непосредственный.

5. Адресное хранение на складе: с чего начать внедрение и как организовать эффективную систему. – URL : https://sevco-wms.ru/blog/adresnoe-hranenie-na-sklade/ (дата обращения: 14.06.2026). – Текст : электронный.

6. Проекты внедрения SEVCO WMS. – URL : https://www.sevco-wms.ru/ (дата обращения: 14.06.2026). – Текст : электронный.

7. Данилова, А. С. Логистика 4.0: цифровая трансформация складских и транспортных процессов в России / А. С. Данилова // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : труды XXIX Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 06 октября 2025 г. – Красноярск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 201–206. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Ранюк Софья Александровна, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация железных дорог», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркут-

ский государственный университет путей сообщения», Красноярский край, г. Красноярск, Россия, ranyuk_sa@krsk.irgups.ru ;

Данилова Маргарита Евгеньевна, студент, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, г. Москва, Россия, margodanilova152@gmail.com ;

Брюханова Полина Юрьевна, студент, Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения», Красноярский край, г. Красноярск, Россия, bryukhanova_01@bk.ru.

Светлакова Е. Н.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛЕЧ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ НА ВОСТОЧНОМ ПОЛИГОНЕ

Протяженность плеч обслуживания локомотивов в пассажирском движении влияет на экономические и социальные факторы. В экономическом плане удлинение плеч вызывает сокращение штата локомотивных бригад и потребность в локомотивах, позволяет более эффективно использовать имеющиеся ремонтные ресурсы. В социальном плане изменение плеч приводит к сокращению стоянок, а, следовательно, и увеличение маршрутной скорости движения пассажирских поездов, сокращение времени нахождения пассажира в пути следования, что в свою очередь, повышает конкурентоспособность железнодорожных пассажирских перевозок. В статье представлен анализ действующих плеч в пассажирском движении на Восточном полигоне и предложено их изменения с целью повышения доходности пассажирских перевозок.

Ключевые слова: локомотивное плечо, доходность, эффективность, конкурентоспособность.

Пассажирские перевозки являются дотационными перевозками, не приносящими прибыль ОАО «РЖД», поэтому компания минимизирует эксплуатационные расходы. Опыт удлинения плеч обслуживания на Западно-Сибирской железной дороге дало обозримый эффект [1].

Для ликвидации узких мест и повышения внутренней эффективности финансово-экономической деятельности железным дорогам сегодня, не дожидаясь реализации стратегических задач, необходимо добиваться эффективного управления затратами, снижения себестоимости перевозок,

устанавливать взаимовыгодные отношения с потребителями услуг транспорта, изыскивать возможности более рационального использования технических средств. Одно из направлений повышения доходности перевозок связано с рационализацией использования локомотивного парка.

Среднее плечо использования локомотива по сети в грузовом движении составляет 492 км. В пассажирском движении бюджет полезного времени работы локомотива составляет 8,59 ч по электровозам и 9,73 ч по тепловозам, что обусловлено оборотом локомотивов на существующий график движения пассажирских поездов. Поэтому существенного совершенствования требует система эксплуатации подвижного состава. Сложившиеся на сети подходы к формированию участков обращения локомотивов, плеч обслуживания локомотивных бригад, весовых норм грузовых поездов сегодня не обеспечивают эффективное использование локомотивного парка и, по сути, являются затратными [2]

На Восточном полигоне в настоящее время установлены следующие плечи работы локомотивов пассажирского движения с работой в границах Забайкальской железной дороги: Мариинск – Иркутск-Пассажирский (1472 км) (пассажирские поезда дальнего следования), Мариинск – Улан-Удэ (1928 км), Мариинск – Чита (2483 км), Мариинск – Чернышевск-Забайкальский (2874 км) – обслуживается электровозами ЭП1в/и приписки ТЧЭ Красноярск Красноярской дирекции тяги, ТЧЭ Иркутск Восточно-Сибирской дирекции тяги без отцепки локомотива по станции Зима. Для почтово-багажных поездов, следующих на участке Мариинск – Чернышевск-Забайкальский, смена локомотива производится по станции Иркутск-Пассажирский. Петровский Завод – Чернышевск-Забайкальский (802 км), Карымская – Забайкальск (365 км) (местные пассажирские и пригородные поезда) – обслуживаются электровозами ЭП1 приписки ТЧЭ Белогорск Забайкальской дирекции тяги; Чернышевск-Забайкальский – Владивосток (2703 км) обслуживается электровозами серии ЭП1в/и приписки ТЧЭ Белогорск по следующим схемам: – для поездов, назначением Хабаровск: Чернышевск-Забайкальский – Хабаровск (1936 км); – для поездов, назначением Владивосток: Чернышевск – Хабаровск-I (1936 км) Хабаровск-I – Владивосток – Белогорск-I (2192 км), Белогорск-I – Чернышевск-Забайкальский (1280 км); для поездов сообщением Белогорск – Хабаровск: Белогорск-I – Хабаровск-I – Белогорск-I (1316 км). Таким образом, анализ действующих плеч, показывает, что протяженность варьируется от 365 км до 2483 км, а, следовательно, требует оптимизации. Установлена периодичность проведения ТО-2 для локомотивов пассажирского движения серии ЭП1в/и 72 ч.

Оптимизация плеч обслуживания локомотивов невозможно без наличия технических ресурсов. Для проведения ТО-2 локомотивам пассажирского парка на Восточном полигоне имеются следующие пункты технического обслуживания пассажирских локомотивов на главном ходу Транссиба в границах Забайкальской железной дороги: – СЛД Чита (для поездов своего формирования); – ПТОЛ Карымская (для поездов с отклонением до ст. Забайкальск); – ПТОЛ Чернышевск-Забайкальский; – ПТОЛ Белогорск-I. Электровозы серии ЭП1в/и приписки Красноярской, Восточно-Сибирской дирекции тяги после прохождения ТО-2 на ПТОЛ станции Мариинск следуют под четные пассажирские поезда с очередным прохождением ТО-2 на ПТОЛ ст. Чернышевск-Забайкальский. После проведения ТО-2 на ПТОЛ ст. Чернышевск-Забайкальский электровозы следуют под нечетные пассажирские поезда с очередным прохождением ТО-2 на ПТОЛ ст. Мариинск. Плечо работы локомотивов пассажирского движения Мариинск – Чернышевск-Забайкальский, представлено на рис. 1.



Рис. 1. Плечо работы локомотивов
пассажирского движения Мариинск – Чернышевск-Забайкальский

Электровозы серии ЭП1в/и Восточно-Сибирской дирекции тяги, следующие с пассажирскими поездами на участок Иркутск – Забайкальск – Иркутск, выдаются под поезда с нулевым пробегом от ТО-2. Для пассажирских поездов назначением Владивосток электровозы серии ЭП1в/и приписки Забайкальской дирекции тяги после прохождения ТО-2 на ПТОЛ станции Чернышевск-Забайкальский следуют под четные пассажирские поезда с очередным прохождением ТО-2 на ПТОЛ станции Хабаровск-II. После проведения ТО-2 на ПТОЛ станции Хабаровск-II электровозы следуют под четные пассажирские поезда до ст. Владивосток с очередным прохождением ТО-2 на ПТОЛ станции Белогорск-I. Со станции Белогорск-I следуют под нечетные пассажирские поезда до станции Чернышевск-Забайкальский. Плечо работы локомотивов пассажирского движения Чернышевск-Забайкальский – Владивосток представлено на рис. 2.



Рис. 2. Плечо работы локомотивов
пассажирского движения Чернышевск-Забайкальский – Владивосток

Для поездов сообщением Нерюнгри – Хабаровск-I – Нерюнгри электровозы приписки Забайкальской дирекции тяги после прохождения ТО-2 на ПТОЛ станции Белогорск-I следуют под нечетные пассажирские поезда до станции Сковородино, где с оборота подвязываются под поезда назначением на станцию Хабаровск-I с очередным прохождением ТО-2 на ПТОЛ станции Белогорск-I. Плечо работы локомотивов пассажирского движения Сковородино – Белогорск-I - Хабаровск-I представлено на рис. 3.

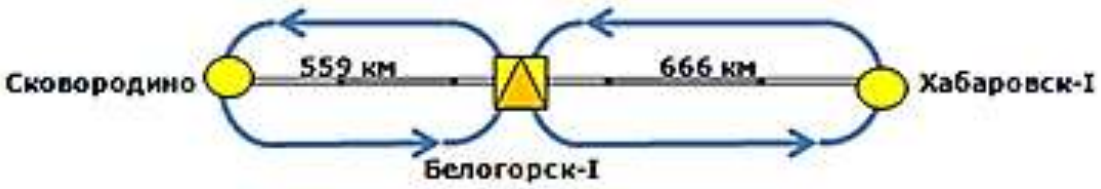


Рис. 3. Плечо работы локомотивов
пассажирского движения Сковородино – Белогорск-I – Хабаровск-I

Для поездов сообщением Белогорск-I – Хабаровск-I – Белогорск-I электровозы приписки Забайкальской дирекции тяги после прохождения ТО-2 на ПТОЛ станции Белогорск-I следуют под четные пассажирские поезда до станции Хабаровск-I, где с оборота подвязываются под поезда назначением на станцию Белогорск с очередным прохождением ТО-2 на ПТОЛ станции Белогорск-I. Плечо работы локомотивов пассажирского движения Белогорск-I – Хабаровск-I представлено на рис. 4.



Рис. 4. Плечо работы локомотивов
пассажирского движения Белогорск-I – Хабаровск-I

Организация вождения поездов местного значения Забайкальской, дирекций тяги осуществляется только локомотивами приписного парка. Во всех случаях выдача локомотива после ТО-2 должна осуществляться со временем не более 3-х часов от проведенного ТО-2. Тяговые плечи пассажирских локомотивов (тепловозы) и техническое обслуживание в объеме ТО-2, обращающихся на полигоне Забайкальской железной дороги: Тында – Сковородино ТО-2 тепловозам 2ТЭ10 осуществляется в ТЧЭ Тында; Борзя – Приаргунск проведение ТО-2 тепловозам 2ТЭ10, 2М62 осуществляется в ТЧЭ Борзя. Благовещенск – Белогорск проведение ТО-2 тепловозам ТЭП70, 2М62 осуществляется в ТЧЭ Белогорск.

С учетом снижения пассажиропотока, развития авиасообщения и низкой плотностью населения количество транзитных пассажирских поездов на полигоне Забайкальской железной дороги снижается с 2013 года и составляет в среднем четыре пары поездов в сутки, против восьми пассажирских поездов в более ранние периоды. Количество почтово-багажных поездов также сокращено с четырех до одного поезда. Ранее в связи с большим количество поездов и недостаточным путевым развитием пассажирской железнодорожной станции Чита-2 (единственной на Забайкальской железной дороге) для смены локомотивов была выбрана станция Чернышевск-Забайкальский. Смена локомотива приводит к необходимости простоя поезда на станции Чернышевск-Забайкальский 30 минут при незначительном пассажиропотоке. При этом стоянка поездов на станции Чита-2 составляет 35 – 40 минут. Пассажирская станция Чита-2 является станцией формирования местных и дальних пассажирских поездов, поэтому в Читинском узле расположено ремонтное локомотивное депо Чита, обеспечивающее ремонт локомотивов. В 2021 г. закончена реконструкция станции Чита-2 и сдан в эксплуатацию дополнительны корпус для ремонта локомотивов на станции Чита-I, что позволяет увеличить объемы работы с локомотивами пассажирского движения. В связи с наличием необходимой инфраструктуры, снижением пассажиропотока предлагается в дипломном проекте рассмотреть возможность изменения плеч обслуживания локомотивов пассажирского движения за счет переноса пункта смены локомотивов транзитных пассажирских поездов со станции Чернышевск-Забайкальский на станцию Чита-2. За счет реализации мероприятия будет сокращено время следования пассажирского поезда по полигону Забайкальской железной дороги, а также увеличена пропускная способность станции Чернышевск-Забайкальский, т. к. сократится время занятие пути пассажирским поездом.

Перенос пункта смены локомотивов пассажирского движения позволит оптимизировать затраты на станции Чернышевск-Забайкальский

за счет консервации пассажирской части локомотивного ремонтного депо. Так как на станции Чернышевск-Забайкальский производится ремонт тепловозов, высвобождающиеся мощности могут быть использованы для увеличения объема ремонта.

Для выполнения работ по текущему обслуживанию локомотивов пассажирского движения в объеме ТО-2 на станции Чернышевск-Забайкальский в смену требуется выход 11 человек (2 мастера, 9 слесарей-ремонтников). С учетом перевода операций по проведению ТО-2 на станцию Чита-2 штатные единицы будут переданы в локомотивное ремонтное депо Чита. При этом, так как в депо уже выполняются работы по текущему обслуживанию локомотивов пассажирского движения в объеме ТО-2, то штат мастеров уже есть, перевод штатных единиц будет осуществлен только слесарей-ремонтников. Штатные единицы мастеров будут сокращены. При этом, высвобождается явочная численность в размере 8,64 человека, или списочная численность – 10 человек. Экономический эффект от сокращения работников составит 10,9 млн руб/год.

В связи с приоритетностью пассажирского движения, на станции Чернышевск-Забайкальский в настоящее время грузовые поезда после окончания обработки при наличии на станции пассажирского поезда не отправляются, простаивают в ожидании отправления пассажирского поезда. Эффект от сокращения дополнительных простоев в ожидании отправления пассажирских поездов составит 2,22 млн руб/год. Таким образом, суммарный экономический эффект составит 13,12 млн руб/год. Можно сделать вывод, что изменение плеч обращения локомотивов пассажирского движения на полигоне Забайкальской железной дороги за счет переноса пункта проведения текущего обслуживания локомотивов пассажирского движения в объеме ТО-2 со станции Чернышевск-Забайкальский на станцию Чита-2 экономически целесообразно.

Библиографический список

1. Тайкешев, Д. А. Расширение плеч обслуживания локомотивов – одна из стратегических задач железнодорожного транспорта / Д. А. Тайкешев // Омский научный вестник. – № 4(79). – 2019. – С. 73-74. – Текст : непосредственный.

2. Программа структурной реформы на железнодорожном транспорте [утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 18 мая 2001 г. № 384] // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001. – № 23. – Текст : непосредственный.

3. URL : https://studbooks.net/780678/tehnika/obespechenie_perevozok_lokomotivami_lokomotivnymi_brigadami. – Текст : электронный.

Сведения об авторе:
Светлакова Елена Николаевна, к.т.н., доцент кафедры «Управление процессами перевозок», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, svete75@yandex.ru.

Светлакова Е. Н., Павлов И. М.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АВТОМАТИЗАЦИИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

В статье рассматриваются актуальные вопросы автоматизации сортировочных процессов на железнодорожном транспорте на основе систем технического зрения. Выполнена оценка экономической эффективности внедрения систем компьютерного зрения, рассчитан срок окупаемости. Проанализированы подходы к управлению рисками (столкновения, «юз», человеческий фактор, климатические условия) и интеграции с цифровыми двойниками сортировочных горок.

Ключевые слова: сортировочная горка, техническое зрение, измерение скорости, продольный профиль, управление рисками, цифровой двойник.

Информационные технологии активно внедряются во все сферы человеческой жизни, и железная дорога не исключение. Цифровизация в настоящее время это не просто средство поддержки управления, а основной элемент инфраструктуры, позволяющий повысить эффективность использования подвижного состава при минимальных затратах и повышении производительности труда работников железнодорожного транспорта.

Цифровыми технологиями называют преобразование и внедрение инноваций, формирование новых бизнес-процессов, повышение эффективности существующих процессов. Основная цель цифровых технологий – это преобразование рабочих процессов за счет выстраивания компьютерных технологий и создания цифровых продуктов для существующих и новых рыночных сегментов [1].

Основным фактором, влияющим на эффективность станции, является перерабатывающая способность станции. На Рисунке представлена диаграмма Исикавы факторов, определяющих перерабатывающую способность станции.



Рисунок. Диаграмма Исикавы перерабатывающей способности станции

Из диаграммы видно, что сортировочные горки являются одним из ключевых элементов железнодорожной инфраструктуры, обеспечивающих перерабатывающую способность станции. В условиях цифровизации железнодорожного транспорта задача повышения безопасности и эффективности функционирования сортировочных горок приобретает особую актуальность. Одним из элементов цифровизации сортировочных горок является внедрение компьютерного зрения для повышения скорости роспуска составов. Системы компьютерного зрения отличаются от обычных систем видеонаблюдения высоким качеством получаемой видеоинформации в различных условиях съемки, отсутствием размытия изображений за счет технологии «global shutter», а также аппаратной синхронизацией. Эти технические и технологические особенности позволяют проводить измерение параметров и обеспечивают стабильное распознавание объектов.

Одной из существующих задач автоматизации является измерение скорости движения железнодорожных объектов (вагонов, локомотивов, составов).

Измерение скорости движения вагонов необходимо для решения ряда практических задач: торможение вагонов на сортировочной горке, формирование изображения протяженных объектов из фрагментов различных кадров, распознавание номеров вагонов для составления натурных листов, а также компенсация вибраций, искажающих данные при распознавании.

Компьютерное зрение позволяет определять скорость роспуска по начальному и конечному положению отцепа. При этом учитывается не только положение отцепов, но и характеристика продольного профи-

ля путей. Продольный профиль путей роспуска и путей сортировочного парка является важнейшим фактором, определяющим расчетную скорость движения отцепов. Основываясь на характеристиках продольного профиля всех элементов пути по ходу скатывания отцепа, системы автоматизации производят расчет допустимой скорости выхода отцепа с каждой тормозной позиции.

Более точное определение скорости движения каждого отцепа позволяет более эффективно регулировать интервалы между отцепами, тем самым сокращать общее время роспуска состава.

В основе обработки видеосигналов для измерения скорости лежит метод межкадровой разности. Суть метода заключается в нахождении разности между значениями цвета пикселей на двух смежных кадрах. Получаемая матрица межкадровой разности затем преобразуется в изображение. При этом очень важным является разработка системы верификации, позволяющей снизить погрешность измерения.

В работе Диязитдинова Р.Р. и Васина Н.Н. описывается процедура верификации фрагментов телевизионного изображения. В текущем кадре выбирается фрагмент определенной ширины и высоты в пикселях. Суммируя яркость пикселей вдоль столбца, рассчитывается опорный сигнал. Аналогичная операция выполняется для следующего кадра. Введение процедуры верификации позволяет отсеивать ошибочные измерения, возникающие из-за наличия шумовых составляющих или низкой информативности изображения. Полученное разностное изображение преобразуется в бинарный вид, фильтруется, и на нем выделяются объекты, несущие информацию о смещении вагона [2-3].

В патенте RU2779427C1 предложен способ диагностики продольного профиля железнодорожных путей сортировочного парка, который заключается в измерении скорости движения отцепов на сортировочной горке в выбранных с интервалом в 50 метров контрольных точках пути. По показателям скорости каждого отцепа определяют значения ускорения на каждой контрольной точке, после чего по усредненным значениям ускорения определяют уклон участков пути. Полученное значение уклона сравнивают с требуемым (нормативным) значением и по результатам сравнения судят о его соответствии нормативу или необходимости выправки продольного профиля пути. Преимуществом данного способа является возможность проведения диагностики в реальном времени без прерывания текущих сортировочных процессов [4].

Эффективность подхода подтверждается результатами внедрения на действующих сортировочных станциях.

Автоматизация работы вагонного замедления на базе компьютерного зрения позволила сократить время ожидания вагонов на горке до 5 секунд на один отцеп. Рост перерабатывающей способности горки составил 14 %, пропускной мощности – 0,3 % за счет сокращения интервалов между отцепами с 20 до 15 секунд. При роспуске состава из 50–60 отцепов экономия времени составляет 4–5 минут на один состав.

На основании полученных данных можно обосновать экономическую эффективность технологии компьютерного зрения – можем рассчитать срок окупаемости по формуле (1):

$$\mathrm{Т_{ок}} = \frac{\Sigma К}{Э_{год.эк.эфф.} - Э_{доп}}, \qquad (1)$$

где ΣК – капитальные вложения на средства компьютерного зрения, 4550000 руб.;

$Э_{год.эк.эфф.}$ – годовая экономическая эффективность, руб.;

$Э_{доп}$ – дополнительные вложения на содержание средств компьютерного зрения, 455000 руб.;

Для расчета годовой экономической эффективности воспользуемся формулой (2):

$$Э_{год.эк.эфф.} = N_{Р}^{сут} \times m_{ср} \times \Delta t_{расф} \times e_{в-ч} \times 365, \qquad (2)$$

где $N_{Р}^{сут}$ – количество поездов, прибывших в расформирование, в сутки, 25 поездов;

$m_{ср}$ – средний состав поезда, 71 ваг.;

$\Delta t_{расф}$ – разница во времени на расформирования между исходным вариантом и вариантом с использованием компьютерного зрения, 5 мин.;

$e_{в-ч}$ – стоимость вагоночаса, 50 р.

$$Э_{год.эк.эфф.} = 25 \times 71 \times \frac{5}{60} \times 50 \times 365 = 2699479 \text{ руб.};$$

$$\mathrm{Т_{ок}} = \frac{4550000}{2699479 - 455000} = 2 \text{ года.}$$

Полученный срок окупаемости доказывает экономическую целесообразность предлагаемого нововведения.

Второй проблемой, влияющей на эффективность работы горки, является недостаточная безопасность роспуска из-за высоких рисков. Сортировочная горка относится к объектам повышенной опасности. Анализ работы сортировочных горок на сети показывает, что основные риски –

столкновения отцепов, сходы вагонов, «недоходы» до путей, ошибки оператора. Интеграция компьютерного зрения с микропроцессорной системой управления (МПСУ) позволяет перейти к упреждающему предотвращению аварийных ситуаций. Компьютерное зрение фиксирует визуальные признаки опасности, МПСУ формирует корректирующие команды для замедлителей, стрелок и светофоров.

Наиболее опасная ситуация – столкновение отцепов. Компьютерное зрение обеспечивает непрерывный контроль скорости на всем пути скатывания. При обнаружении «юза» (заклинивания колесных пар) компьютерное зрение передает сигнал в МПСУ, которая направляет опасный отцеп на специализированный путь. Отклонения продольного профиля выявляются по измерению скорости в контрольных точках. Человеческий фактор снижается за счет автоматической корректировки параметров или вывода оператору визуализированной информации об угрозе. В отличие от радаров, компьютерное зрение с инфракрасной подсветкой сохраняет работоспособность при осадках; данные о погоде интегрируются в систему прогнозирования.

Таким образом, кроме ускорения процесса роспуска составов применение компьютерного зрения позволяет повысить безопасность роспуска. Системы компьютерного зрения выполняют не только видеофиксацию, но и производят измерение необходимых параметров отцепов для автоматизации процесса роспуска в целом.

В состав современных систем автоматизации сортировочных горок входят:

- устройства контроля и управления автоматикой;
- системы управления телемеханикой;
- модули поддержки принятия решений для эксплуатационного и обслуживающего персонала;
- метеостанции для учета погодных условий.

Новые методики автоматизации сортировочных процессов основанных на компьютерном зрении, открывают новые возможности повышения эффективности и безопасности этих процессов. Для большего эффекта необходима интеграция всех автоматизированных систем в единое информационное пространство сортировочных станций, чтобы функции человека сводились лишь к контролю за работой оборудования.

Библиографический список

1. Москвичев, О. В. Информационные технологии и информационно-управляющие системы на магистральном транспорте : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / О. В. Москвичев. – Самара : СамГУПС, 2015. – 287 с. – Текст : непосредственный.

2. Диязитдинов, Р. Р. Обработка телевизионных изображений в задачах измерения параметров движения железнодорожного подвижного состава / Р. Р. Диязитдинов, Н. Н. Васин // Инфотранспорт. – 2022. – № 3. – С. 42–47. – Текст : непосредственный.

3. Диязитдинов, Р. Р. Обработка видеосигналов для измерения скорости движения железнодорожных вагонов на сортировочной горке / Р. Р. Диязитдинов, Н. Н. Васин // Инфотранспорт. – 2022. – № 3. – С. 42–47. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-videosignalov-dlya-izmereniya-skorosti-dvizheniya-zheleznodorozhnyh-vagonov-na-sortirovochnoy-gorke (дата обращения: 30.07.2026). – Текст : электронный.

4. Патент RU2779427C1. Способ диагностики продольного профиля железнодорожных путей сортировочного парка / опубл. 07.09.2022. – Текст : непосредственный.

5. Курбанов, Ж. Ф. Повышение эффективности сортировочной работы на основе систем компьютерного зрения / Ж. Ф. Курбанов, З. Б. У. Тошбоев, М. Ю. У. Хокимжонов // Современные технологии на транспорте. – 2023. – № 4. – С. 55–61. – Текст : непосредственный.

6. Долгий, А. И. Инновационные алгоритмы машинного зрения для диагностики продольного профиля сортировочных путей / А. И. Долгий, А. Е. Хатламаджиян, И. А. Ольгейзер, А. В. Суханов, К. И. Корниенко // Современные технологии на железнодорожном транспорте : сборник статей. – 2022. – № 8. – С. 31–37. – URL : https://scbist.com/xx3/55320-08-2022-innovacionnye-algoritmy-mashinnogo-zreniya-dlya-diagnostiki-prodolnogo-profilya-sortirovochnyh-putei.html (дата обращения: 30.04.2026). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Светлакова Елена Николаевна, к.т.н., доцент кафедры «Управление процессами перевозок», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, svete75@yandex.ru ;

Павлов Илья Максимович, студент гр. ЭЖД 1-22-1 Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Забайкальский край, г. Чита, Россия, pavlovilya.2005@gmail.com.

Тепина В. В., Кравченко И. Ф.

ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ГРУЗОВЛАДЕЛЬЦА ПРИ ПРОСТОЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЭТАПЕ ТАМОЖЕННОГО ОФОРМЛЕНИЯ ЭКСПОРТНЫХ ГРУЗОВ

В работе рассматривается влияние простоев грузовых вагонов на этапе таможенного оформления экспортных грузов на издержки и себестоимость продукции. Выявляются основные причины задержек подвижного состава и виды возникающих затрат. На основе сценарного подхода и расчетов оценены прямые, косвенные и контрактные потери. Показано, что даже незначительный простой вагонов ведет к увеличению логистических издержек, снижению экономической эффективности поставок и эффективности использования подвижного состава. Предложены меры по сокращению простоев. Полученные выводы могут быть полезны при улучшении логистических процессов на терминалах.

Ключевые слова: простой грузовых вагонов, таможенное оформление, подвижной состав, издержки, себестоимость, тарно-штучные грузы, железнодорожный транспорт.

Простой вагонов с экспортными грузами на этапе таможенного оформления выступает в качестве одного из факторов неэффективности, который влияет на увеличение логистических издержек и последующее повышение конечной себестоимости товарной продукции. Актуальность темы определяется тем, что в 2025–2026 гг. задержки на границе и таможенных терминалах значительно повысили нагрузку на железнодорожный транспорт, а сроки доставки грузов выросли из-за усиления проверок и образования очередей [1]. В данных условиях простой вагонов влияет не только на логистические процессы, но и напрямую отражается на росте стоимости товара, поскольку грузовладельцы включают дополнительные расходы в себестоимость. Ситуация обостряется ростом затрат на перевозку и содержание вагонов в 2026 г., что снижает экономическую эффективность перевозок, нарушает стабильность поставок и негативно отражается на финансовом положении и платежеспособности участников цепей поставок. Данная ситуация носит масштабный характер и требует решения в нескольких направлениях. Проблема исследования состоит в том, что простой вагонов на этапе таможенного оформления увеличивает логистические издержки, увеличивает сроки доставки и в итоге повышает себестоимость товара. Целью работы явля-

ется оценка экономических потерь грузовладельца в результате увеличения сроков доставки экспортных грузов на этапе таможенного оформления. Для достижения поставленной цели нужно решить несколько задач: разобраться в причинах задержек, выделить виды дополнительных затрат, рассчитать их влияние на себестоимость и предложить варианты снижения потерь. Научная новизна работы заключается в разработке подхода, который позволит оценить дополнительные издержки грузовладельца, возникающих из-за простоев подвижного состава на этапе таможенного оформления.

Одной из ключевых причин простоя грузовых вагонов на таможенных терминалах является комплекс административно-процедурных, инфраструктурно-технологических и организационных факторов. Данные факторы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Классификация причин простоя грузовых вагонов на таможенных терминалах

Группа факторов	Перечень факторов
Административно-процедурные	1. Длительность документального контроля экспортной декларации. 2. Выборочный фактический досмотр (процент срабатывания СУР – системы управления рисками). 3. Нестыковки в электронном документообороте (АС ЭТД, системы ФТС и РЖД). 4. Оформление сертификатов, лицензий
Инфраструктурно-технологические	1. Ограниченная пропускная способность станций, выполняющих таможенные операции. 2. Нехватка мест для проведения досмотра на путях станции. 3. Неравномерность подачи вагонов под грузовые операции и досмотр
Организационные	1. Несогласованность действий отправителя, экспедитора, перевозчика и таможенного органа. 2. Ошибки в документах, требующие корректировки и повторной подачи. 3. Отсутствие у грузовладельца полной информации о статусе оформления

Дополнительное влияние оказывают сезонные изменения объема перевозок, ограничения по размещению подвижного состава и необходимость выполнения отдельных технологических операций, увеличивающих время нахождения вагонов на терминале. В результате формируются избыточные простои, которые приводят к росту расходов и сниже-

нию общей эффективности перевозки [2]. Данные потери представлены в табл. 2.

Таблица 2

Виды потерь грузовладельца при простое вагонов

Категория	Конкретные затраты
Прямые эксплуатационные	– плата за пользование вагонами (ставка оператора/собственника подвижного состава за сверхнормативный простой). – плата за занятие инфраструктуры станции сверх нормативного времени. – затраты на дополнительные маневровые операции (подача/уборка для досмотра)
Косвенные потери грузовладельца	– замораживание оборотных средств в стоимости груза на время простоя. – упущенная выгода от задержки поставки. – риск срыва окна на погранпереходе и, как следствие, удлинение общего срока доставки
Контрактные риски и санкции	– штрафные санкции перед покупателем за нарушение сроков поставки (оговаривается в ВЭД-контракте). – потеря части выручки при изменении базиса поставки (если простой вынуждает перейти с FCA на CPT). – репутационные риски и возможная потеря клиента

Задержки вагонов на таможенных терминалах влекут за собой дополнительные расходы, которые включаются в стоимость перевозки и в итоге увеличивают себестоимость товара. К ним относятся: расходы на содержание вагонов во время ожидания, плата за использование сверх установленного времени, затраты на маневровые операции, а также возможные штрафы за нарушение сроков поставки. В результате даже непродолжительный простой способен заметно повлиять на результаты перевозки и на итоговую цену продукции [3].

Влияние простоя вагонов на итоговую себестоимость товара проявляется в основном через рост транспортных издержек в расчете на единицу груза. Чем дольше вагон задерживается на таможенном терминале, тем больше общих затрат на его содержание и тем ниже эффективность использования подвижного состава [4]. В денежном выражении это ведет к повышению стоимости каждой перевозочной операции, росту транспортной части в цене товара и снижению его конкурентных позиций на рынке. Соответственно, простой вагонов следует рассматривать не просто как техническую задержку, а как значимый экономический фактор, влияющий на формирование конечной цены товара.

Рекомендуется рассчитывать прямые эксплуатационные затраты на содержание вагона согласно актуальным тарифным ставкам и рекомендованным принципам оценки себестоимости грузовых перевозок [5, 6]. Данный подход обеспечивает необходимую точность и обоснованность выводов при анализе влияния дополнительного простоя.

Расчет влияния задержек вагонов на этапе таможенного оформления на себестоимость перевозки выполняется при следующих допущениях: продавец отвечает за погрузку, таможенное оформление экспорта и принимает на себя финансовые последствия простоя вагонов на этапе таможенных процедур. Партия груза принимается с фиксированным количеством вагонов и фиксированной стоимостью товара. В расчетах используются усредненные ставки за пользование вагонами и станционные сборы. Ограничения применяемых расчетов: ориентирован на тарно-штучные грузы, которые перевозятся железнодорожным транспортом. Расчет носит оценочный характер.

Совокупные потери грузовладельца складываются из следующих компонентов: сверхнормативная плата за пользование вагонами, плата за сверхнормативное занятие инфраструктуры, контрактные штрафы и оценка косвенных потерь.

Для оценки влияния простоя на себестоимость используются следующие показатели: себестоимость единицы груза, удельный расход каждой группы, отношение общих затрат к стоимости партии.

Сценарный подход целесообразнее проводить по нескольким вариантам: отсутствие задержки, задержка на 1 сутки, 3 суток, 5 суток. Это позволит определить допустимые значения времени простоя, при превышении которых финансовые потери грузовладельца становятся неприемлемыми и требуют принятия решений.

Таблица 3

**Сценарии расчета потерь грузовладельца
в зависимости от продолжительности простоя вагонов**

Сценарий	Характеристика
Отсутствие задержки	Дополнительные расходы отсутствуют, себестоимость товара не изменяется. Все таможенные процедуры выполняются в установленный срок
Задержка на 1 сутки	Возникают наименьшие дополнительные расходы, связанные с платой за пользование вагонами и занятие инфраструктуры станции. Косвенные потери и штрафы отсутствуют

Окончание табл. 3

Сценарий	Характеристика
Задержка на 3 суток	Рост затрат за счет подключения штрафных санкций и косвенных потерь (замораживание оборотных средств, упущенная выгода)
Задержка на 5 суток	Максимальные расходы, включающие все виды прямых и косвенных потерь, а также риски срыва сроков поставки, потери клиента и репутационного ущерба

В качестве объекта для расчета рассмотрим экспорт бытовой техники – холодильники. Для перевозки потребуется два крытый вагона, общая масса партии составляет 45 тонн, этому соответствует 600 единицам груза при средней массе одного холодильника 75 кг. Стоимость партии определена в размере 25 млн рублей. В качестве поставки выбран терминал FCA. Ставка за пользование вагоном составляет 3000 рублей за один вагон в сутки; ставка за сверхнормативное занятие инфраструктуры составляет 5000 рублей за каждый вагон в сутки при превышении лимита времени на погрузочно-разгрузочные работы. Также условиями контракта ответственность грузовладельца за нарушение сроков исполнения обязательств предусмотрен штраф в размере 0,05 % от стоимости партии за каждый день просрочки, что соответствует 12500 рублей в денежном выражении.

Таблица 4

Результаты расчета потерь грузовладельца при различной продолжительности простоя вагонов

Показатель	Задержка 0 сут	Задержка 1 сут	Задержка 3 сут	Задержка 5 сут
сверхнормативная плата за пользование вагонами, руб.	0	6000	18000	30000
плата за сверхнормативное занятие инфраструктуры, руб.	0	10000	30000	50000
контрактные штрафы, руб.	0	12500	37500	62500
косвенные потери, руб.	0	0	30000	50000
общие потери	0	28500	115500	192500
доля потерь в стоимости партии, %	0	0,114	0,462	0,77
прирост себестоимости на единицу груза руб/шт.	0	47,5	192,5	320,8

Из проведенного расчета следует, что увеличение срока простоя вагонов приводит к росту дополнительных затрат грузовладельца. При от-

сутствии задержки совокупные потери отсутствуют, из этого следует, что при соблюдении сроков таможенного оформления дополнительные расходы отсутствуют. При задержке вагонов на 1 сутки общие потери составляют 28500 рублей, а прирост себестоимости составляет 47,5 рублей на единицу груза. Следовательно между длительностью задержки подвижного состава и ростом финансовых затрат существует зависимость.

Анализ показывает, что при любом варианте основную долю затрат составляют: плата за сверхнормативное занятие инфраструктуры и сверхнормативная плата за пользование вагонами. Полученные результаты указывают на то, что дополнительные затраты для грузовладельца формируют эксплуатационные расходы. Но при задержке вагонов до трех суток ситуация меняется и к ним добавляются контрактные штрафы и косвенные потери, в результате начинают увеличиваться общая сумма убытков до 115500 руб., а доля потерь в стоимости партии увеличивается до 0,462 % от стоимости товара.

При увеличении простоя до пяти суток суммарные потери возрастают до 192500 рублей, а себестоимость каждой единицы товара дополнительно увеличивается на 320,8 рублей. Из этого следует, что непродолжительный простой вагонов способен ухудшить экономическую эффективность транспортировки, особенно в условиях действия штрафных санкций за нарушение сроков. Основным фактором становится длительность простоя, потому что она превращает небольшой рост расходов в значительное подорожание товара.

Расчет показывает, что простой вагонов на этапе таможенного оформления является экономически значимой проблемой, которая влияет на величину издержек, цену товара и прибыль грузовладельца. Полученные результаты аргументируют необходимость сокращения сроков таможенного оформления, улучшения согласованности между участниками перевозочного процесса и устранения непроизводственных задержек.

Сократить простой вагонов на таможенных терминалах можно с помощью трех групп мер: организационно-информационные, технологические и контрактные [7]. В организации процесса ключевое значение имеет предварительное электронное декларирование – подача документов до прибытия груза. Это сокращает время проверки и предотвращает задержки из-за ошибок в оформлении. Контроль статуса через интеграцию с системой АС ЭТД позволяет контролировать алгоритм процедур, а резервирование окон для досмотра помогает избежать скопления вагонов на терминале.

Технологические решения включают выбор станций с подходящей инфраструктурой, что ускоряет обработку тарно-штучных грузов,

и применение средств дистанционного досмотра, которые уменьшают необходимость вскрытия вагонов и сокращают время контроля. Эти меры также снижают риск повреждения груза.

Контрактные меры касаются распределения ответственности между участниками сделки. Использование базисов Инкотермс, переносящих риски на покупателя (например, FCA), и включение форс-мажорных условий позволяют защитить грузовладельца от штрафов при задержках, не зависящих от его действий.

В результате сочетание организационных, технологических и контрактных мер позволяет добиться снижения простоев и сократить дополнительные издержки.

В ходе работы установлено, что основной причиной роста затрат при экспорте грузов является простой вагонов на этапе таможенного оформления, который вызван административно-процедурными, инфраструктурно-технологическими и организационными факторами: один день задержки увеличивает дополнительные расходы, а при задержке трех и пяти дней простой уже влечет штрафные санкции и косвенные потери, которые снижают рентабельность перевозки. Наибольшая доля финансовых затрат приходится на сверхнормативную плату за инфраструктуру и пользование вагонами, следовательно, основная задача заключается максимально сократить длительность таможенных процедур. Для этого предложены меры, которые в совокупности позволяют снизить логистические издержки и повысить стабильность экспортных перевозок.

Библиографический список

1. Задержки грузоперевозок из Китая в Россию: что известно // Лента.ру. – 2026. – URL : https://lenta.ru/news/2026/02/12/cargo/ (дата обращения: 02.07.2026). – Текст : электронный.

2. Ледней, А. Ю. Влияние сезонной неравномерности перевозок на эффективность транспортной инфраструктуры / А. Ю. Ледней // КиберЛенинка. – URL : https:cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-sezonnoy-neravnomernosti-perevozok-na-effectivnost-transportnoy-infrastruktury/viewer (дата обращения: 20.07.2026). – Текст : электронный.

3. Бадмаева, Д. Б. Проблемы, возникающие в процессе перемещения товаров через таможенную границу ЕАЭС железнодорожным транспортом, и пути их решения / Д. Б. Бадмаева //Scientific Journal. – 2019. – № 56. – Текст : непосредственный.

4. Терешина, Н. П. Экономика железнодорожного транспорта : учебник для вузов железнодорожного транспорта / Н. П. Терешина, В. Г. Галабурда, М. Ф. Трихунков [и др.] ; под редакцией Н. П. Тереши-

ной, Б. М. Лапидуса, М. Ф. Трихункова. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2006. – ISBN 5-89035-329-2. – Текст : непосредственный.

5. Экономика железнодорожного транспорта : учебник для вузов / под редакцией Н. П. Терешиной, Л. П. Левицкой. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2021. – 544 с. – Текст : непосредственный.

6. Тарифное руководство № 1 (Порядок расчета тарифов на перевозки грузов и услуги инфраструктуры железнодорожного транспорта) [утверждено приказом ФАС России от 06.11.2025 № 894/25] / Федеральная антимонопольная служба Российской Федерации. – Москва, 2025. – URL : https://minjust.consultant.ru/documents/56734?items=1&page=5 (дата обращения: 22.07.2026). – Текст : электронный.

7. Качанова, Л. С. Проблемы развития логистики в таможенном деле и пути их решения на примере железнодорожного транспорта / Л. С. Качанова, А. К. Ананьева // Столыпинский вестник. – 2022. – № 2. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Тепина Виктория Владимировна, студент кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, Россия, viktoriatepina8@gmail.com ;

Кравченко Иван Федорович, ассистент кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, Россия, kif1_1@mail.ru.

Толстый Д. И., Кузнецов П. С., Разумовская М. И.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ АЭРОПОРТА ХАБАРОВСК (НОВЫЙ) НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА DIGITAL-ИНСТРУМЕНТАРИЯ

В статье показано, что цифровизация маркетинговых коммуникаций должна рассматриваться не только как продвижение аэропорта на рынке транспортных услуг, но как организация сервисного взаимодействия на клиентском пути пассажира. Названы цифровые рычаги, нашедшие применение в практике отечественных и зарубежных аэропортов.

Для аэропорта Хабаровск (Новый) предложен проект модернизации digital-инструментария на основе трёх взаимосвязанных решений:

внедрения DOOH-экосистемы, развития mobile-first стратегии и интеграции с социальными сетями и внешними цифровыми платформами. Выполнено его экономическое обоснование.

Ключевые слова: аэропорт, digital-инструментарий, путь клиента, цифровая инфраструктура.

Аэропорт Хабаровск (Новый) имени Г. И. Невельского (KVH/UHHH) – стратегически важный транспортный узел Дальнего Востока России, расположенный в 22 км от центра города, введён в эксплуатацию в 1998 г. и заменил устаревший аэропорт «Хабаровск-Центральный». В 2025 г. открыт новый международный терминал. Общий объём инвестиций составил около 6,1 млрд рублей. В планах на ближайшие годы предусмотрено обновление частей перрона и рулежных дорожек. Совокупный объём инвестиций в эти работы оценивается примерно в 11,5 млрд рублей.

За последние три года аэропорт показатели пассажиропотока и уровня загрузки терминала росли (табл. 1) [1].

Таблица 1

Экономические результаты коммерческой деятельности

Показатель	2022	2023	2024	2025
Пассажиропоток, тыс. чел	1941,5	2,264	2,446	2,578
Уровень загрузки терминала, %	72	81	88	92

В терминале на пути пассажира использованы следующие цифровые решения:

1. Пункт отправления и трансфер в аэропорт:

– Частично автоматизированные паркинги с возможностью оплаты через кассу.

– Традиционная стойка регистрации с элементами автоматизации.

– Начальная стадия внедрения мобильного маркетинга.

2. Путь до гейта:

– Стационарные информационные панели.

3. Гейты и вылеты

– Электронные посадочные талоны.

– Стойки саморегистрации.

4. Пункт назначения / Обратный рейс.

– Развитая интеграция с местными транспортными компаниями.

Эти решения направлены не только на сокращение времени обслуживания, но и на достижение следующих целей digital-маркетинга:

– повышение лояльности пассажиров и привлекательности неавиационных услуг;

– увеличение неавиационных доходов;

– оптимизация расходов на маркетинг;

– установление долгосрочных отношений с пассажирами.

Возможности аэропорта расширяет digital-маркетинг за счёт использования сайта, социальных сетей, мобильных приложений, push-уведомлений, e-mail и SMS-коммуникаций, QR-кодов, цифровых экранов, чат-ботов, видеоконтента и интеграций со сторонними платформами. Эти инструменты эффективны только при их совместном применении и согласовании с этапами клиентского пути пассажира: от планирования поездки и трансфера в аэропорт до нахождения в терминале, вылета, прибытия и последующего взаимодействия с сервисами аэропорта.

В табл. 2 представлены 13 ключевых точек на пути авиапассажира через аэропорт и стороны, которые в них «разговаривают» [2, 3, 4, 5]. На каждом шаге путь авиапассажира превращается в цепочку «точек соприкосновения с инфраструктурой», где аэропорт одновременно:

– источник информации (реклама, инфостенды, персонал);

– получатель обратной связи (сенсоры, аналитика, отзывы);

– арбитр между множеством сторон (госорганы, ритейлеры, авиакомпании).

Таблица 2

Карта digital-маркетинга аэропорта-хаба по этапам пути пассажира

Этап пути пассажира	Ключевые стороны	Особенности коммуникации
1. Предпоездный (inspiration/shopping	Аэропорт ⇄ Потенциальный пассажир (он- и офлайн)	Канал: SEO/SEA, метапоиски; Сигнал: «удобная стыкавка», «лучший шопинг до вылета», «доступные цены на парковку»
2. Бронирование и покупка билета	Аэропорт (через авиакомпанию-члена хаба) ⇄ Пассажир	Двусторонний диалог: чат-бот в мессенджере отправляет boarding-pass, просит выбрать услугу Fast Track. Обратная связь: клик-путь по ссылке «добавить lounge» фиксируется CRM для персонального e-mail-таргета
3. День вылета – подъезд к терминалу	Аэропорт ⇄ Авто-пассажир	Технический канал: VMS-табло на въезде, динамическая цена парковки (меняется каждые 5 мин). Знаковый код: цвет сектора парковки = язык, понятный без слов (зелёный = дешево, красный = дорого)

Окончание табл. 2

Этап пути пассажира	Ключевые стороны	Особенности коммуникации
4. Check-in / baggage drop	Аэропорт (groundhandler) ⇄ Пассажир	Личный контакт: агент на стойке объясняет правила excess-baggage; эмоциональный триггер – «страх доплаты» сглаживается апсейлом «добавь 5 кг за N-сумму прямо сейчас»
5. Безопасность	Авиационная безопасность ⇄ Пассажир	Коммуникация «жёстко» преднамеренная, но частично неуправляемая аэропортом: инфографика «что запрещено» на 6 языках. Закон гетерогенности: у пассажира нет знаний о локальных правилах → смысл ценен
6. Duty Free / розница	Ритейлеры-арендаторы ⇄ Пассажир	Повторяющийся, эмоциональный канал: geofence-push «Только сегодня скидка 20 % на местный виски» при входе в зону
7. Лаунж-зона & F&B	Аэропорт / операторы питания ⇄ Пассажир	Долгосрочная коммуникация: loyalty-программа Priority-Pass; обратная связь через 30-секундный QR-опрос на столике → instant-купон на кофе
8. Посадка (gate)	Аэропорт (gateagent) ⇄ Пассажир	Синхронизация: цифровое табло + аудио + светодиодные «столбики» цветовой зонинг
9. Полёт	Авиакомпания, но бренд аэропорта «всплывает» в IFE-меню	Непреднамеренный канал: карта полётов с логотипом хаба на инфотейнмент-экране
10. Прибытие / disembarkation	Аэропорт ⇄ Прибывший пассажир	Первый сигнал: «Welcome to…» на динамике + аромат «запах свежей выпечки» (сенсорный маркер). Обратная связь: e-gate сканирует e-pass, фиксируя время доставки багажа → KPI «<15 min» транслируется в приложении
11. Baggage claim	Аэропорт / гос. органы ⇄ Пассажир	Гетерогенность: у пассажира нет данных о местном законе → инфографика «1 л спиртного беспошлинно» = ценный сигнал
12. Встреча и земной транспорт	Аэропорт ⇄ Встречающие + местные жители	Широковещательный канал: indoor LED «Такси Airport-Fix-Price N-сумма рублей» минимизирует спонтанные негативные отзывы в соцсетях
13. Постпроездный (post-trip)	Аэропорт ⇄ Уже улетевший пассажир	Повторный, но персонализированный контакт: e-mail «Rate us» + 500 бонусных миль за отзыв

В этой связи предлагается комплексная программа модернизации маркетингового digital-инструментария аэропорта. Программа включает три взаимосвязанных решения:

1. Внедрение продвинутой DOOH-экосистемы. DOOH позволяет не только транслировать актуальную информацию, но и реализовывать рекламные кампании, адаптируя контент под конкретные сегменты аудитории в режиме реального времени. Её инструментарий включает:

– интерактивные информационные панели в зонах прилёта и вылета;

– digital-рекламу, которая предусматривает аналитику пассажиропотока (ADPASS) для автоматической рассылки предложений, например, у выходов на посадку, в зонах досмотра и выдачи багажа, в стерильной зоне, lounge-залах.

Внедрение DOOH-экосистемы обеспечит рост конверсии за счёт подбора целевой аудитории для коммерческих предложений.

2. Развитие mobile-first стратегии. Её реализация в условиях, когда мобильные устройства используются для покупок, обеспечивает максимальный охват аудитории и создаёт единую точку доступа ко всем сервисам аэропорта.

Основные решения связаны с разработкой:

– мобильного приложения (заказ услуг; внутренняя GPS-навигация; данные по рейсу);

– системы push-уведомлений (специальные акции, изменения в расписании, новости);

– QR-кодирования (зоны продаж и отдыха).

Mobile-first стратегия повысит удобство получения актуальной информации, оформления и оплаты заказов. Общий объём капитальных вложений на запуск такого проекта составит до 17 млн рублей, в т. ч. 12 млн руб разработка мобильного приложения и 5 млн руб навигации и QR-кодирования, а ежегодные текущие расходы до 5 млн руб. При ожидаемом экономическом эффекте около 5 млн руб. срок окупаемости проекта не превысит четыре года.

3. Интеграцию с внешними цифровыми платформами. Это расширяет возможности для digital-рекламы за счёт партнёров.

В целом DOOH-инфраструктура позволяет оперативно транслировать информацию и рекламные сообщения в зонах наибольшего пассажиропотока, а мобильная стратегия создаёт единую точку доступа к услугам аэропорта. Проект «Развитие mobile-first стратегии» делает коммуникацию аэропорта не просто сервисным сопровождением, а полноценным маркетинговым активом, влияющим на выбор хаба, удовлетворённость и долгосрочную лояльность.

Библиографический список

1. Международный аэропорт Хабаровск подвел итоги производственной деятельности за прошедший год. – URL : https://khv.aero/airport/news/v-mezhdunarodnom-aeroportu-khabarovsk-podveli-itogi-raboty-za-2025-god/ (дата обращения: 20.05.2026). – Текст : электронный.

2. Романов, Д. И. Инновационные технологии в сервисном обслуживании пассажиров: опыт зарубежных аэропортов / Д. И. Романов, Н. А. Федорова // Научные исследования в области транспорта : сборник статей. – URL : https://www.transportresearch.ru/article/2025/innovative-technologies-passenger-service (дата обращения: 10.05.2026). – Текст : электронный.

3. Татаринов, К. А. Развитие интернет-маркетинга и его инструментов. Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин] / К. А. Татаринов. – 2022. – № 01(51). – С. 54–61. – Текст : электронный.

4. Цифровые тенденции в мире в 2025 году. – URL : https://cpa.rip/articles/digital-2026-global-overview-report/ (дата обращения: 10.05.2026). – Текст : электронный.

5. Airports and the Future of Tourism // Airport Business. – URL : http://www.airport-business.com/2015/07/airports-future-tourism/ (дата обращения: 15.05.2026). – Текст : электронный.

Сведения об авторах:

Толстый Данил Игоревич, магистрант, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровский край, г. Хабаровск, Россия, tolsty.danil@mail.ru ;

Кузнецов Павел Сергеевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровский край, г. Хабаровск, Россия, kuznetsovpaul73@gmail.com ;

Разумовская Марина Ивановна, д-р экон. наук, профессор кафедры «Экономика и управление на транспорте», ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровский край, г. Хабаровск, Россия, 9242222540 @mail.ru.

Упырь Р. Ю., Дудакова А. В.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ DIGITAL TWIN В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА НА БЕСПИЛОТНОЕ ДВИЖЕНИЕ

В статье рассматриваются подходы к цифровизации диспетчерского управления на железнодорожном транспорте с использованием технологии цифровых двойников (Digital Twin) в контексте перехода к беспилотному движению грузовых поездов. Представлена имитационная модель двухпутного перегона, оборудованного трёхзначной автоблокировкой, разработанная в среде AnyLogic. Модель позволяет количественно оценивать динамику накопления вагонного парка на ограничивающих станциях при изменении межпоездных интервалов. Предложен показатель времени достижения критической загрузки станции, позволяющий прогнозировать риски превышения уровня накопления вагонов и своевременно корректировать диспетчерские решения. Результаты моделирования демонстрируют нелинейный характер зависимости между отклонением интервала отправления и временем наступления критического состояния системы. Разработанная методика может быть интегрирована в автоматизированные системы диспетчерского управления для повышения надёжности и эффективности перевозочного процесса при принятие управленческих решений.

Ключевые слова: цифровой двойник, диспетчерское управление, беспилотные грузовые поезда, имитационное моделирование, пропускная способность, управление рисками.

Введение. Стратегия цифровой трансформации железнодорожного транспорта Российской Федерации предусматривает поэтапный переход к интеллектуальным системам управления, одним из ключевых направлений которого является внедрение беспилотных грузовых поездов (БГП), в т. ч., и на специализированных железнодорожных линиях [1]. Успешная реализация этого направления требует кардинального пересмотра подходов к диспетчерскому управлению, поскольку традиционные методы, основанные на использовании «твёрдых» ниток графика движения, не в полной мере учитывают динамический характер взаимодействия беспилотных составов с инфраструктурой перегонов и станций.

Цифровые двойники (Digital Twin) представляют собой эффективный инструмент для решения задач прогнозирования и ситуационного анализа в транспортных системах. Создание виртуальной копии желез-

нодорожного участка с возможностью воспроизведения различных сценариев движения позволяет диспетчерскому персоналу заблаговременно оценивать последствия принимаемых решений, выявлять узкие места и предотвращать развитие критических ситуаций. Особую актуальность данная технология приобретает в условиях перехода на беспилотное движение, когда фактор человеческой интуиции в управлении поездопотоками должен быть дополнен математически обоснованными прогнозными моделями.

В существующих исследованиях вопросы моделирования железнодорожных перегонов рассматриваются преимущественно для «традиционных» поездов с фиксированными нитками графика [2]. Динамика накопления вагонного парка на технических станциях при изменении частоты отправления беспилотных составов изучена недостаточно, несмотря на практическую значимость данной задачи для обеспечения устойчивой работы полигонов. Предлагаемый авторами подход направлен на восполнение этого пробела путём разработки цифрового двойника двухпутного участка и методики оценки критической загрузки станций для нужд диспетчерского управления.

Конфигурация цифрового двойника и принятые допущения. Для построения цифрового двойника была выбрана среда имитационного моделирования AnyLogic, позволяющая реализовать дискретно-событийный подход с элементами мультиагентного моделирования [3, 4]. В качестве объекта моделирования рассматривается двухпутный железнодорожный перегон, оборудованный трёхзначной автоблокировкой. Протяжённость перегона составляет 30 блок-участков, каждый длиной 2000 метров, что соответствует типовым значениям для грузонапряжённых направлений (см. Рисунок).

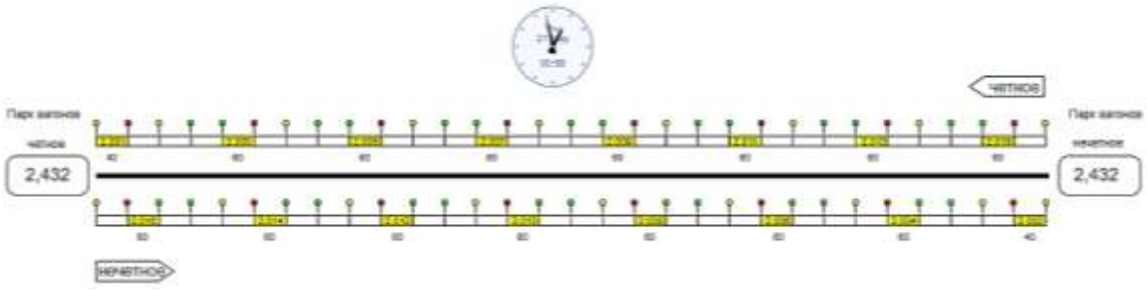


Рисунок. Модель двухпутного перегона, оборудованного трехзначной автоблокировкой (разработано авторами в Anylogic)

В модели применяется следующая зависимость скорости движения поезда от показаний проходных светофоров: при езде на зелёный сигнал

проходного светофора скорость составляет 60 км/ч, на жёлтый – 40 км/ч, при красном – 20 км/ч соответственно. Это сделано для того, чтобы избежать полных остановок на перегоне и обеспечить поточность движения на специализированных грузовых линиях. В основу моделирования заложен классический подход, предусматривающий дискретный характер занятия и освобождения блок-участков. То есть поезд переходит на следующий участок только после того, как предыдущий уже занят, и освобождает предыдущий только после успешного входа на последующий. Данный подход соответствует принципам работы автоблокировки и позволяет правильно воспроизводить реальные процессы.

Для чистоты эксперимента приняты следующие допущения: промежуточные раздельные пункты на перегоне грузовые беспилотные поезда проследуют без остановки, движение осуществляется только грузовых поездов, состав каждого поезда составляет 71 условный вагон. Начальное значение рабочего парка на ограничивающих перегон станциях задано в количестве 3000 вагонов в каждом направлении.

Моделирование динамики вагонного парка при базовом режиме. Базовым сценарием, соответствующем нормативному графику, принят интервал отправления поездов на перегон, равный 8 минутам в каждом направлении. При данных условиях система демонстрирует устойчивое поведение: после завершения переходного процесса, связанного с выходом поездов на участок, величина вагонного парка на станциях стабилизируется и совершает циклические колебания относительно среднего значения.

Основной целью исследования являлась оценка влияния дисбаланса межпоездных интервалов по направлениям на динамику накопления вагонного парка. Для этого в модель был введён сценарий, при котором на 60-й минуте работы интервал отправления в одном из направлений увеличивался на заданную величину, в то время как в другом направлении сохранялось базовое значение 8 минут.

Результаты экспериментов показали, что даже незначительное увеличение интервала приводит к монотонному росту вагонного парка на ограничивающей перегон станции. Критический уровень в 4000 вагонов достигается через 1629 минут после изменения режима при принятой конфигурации перегона. Если увеличить межпоездной интервал до 10 минут, то время достижения критической загрузки станции составит 933 минут. При значениях интервала свыше 16 минут критическая загрузка наступает менее чем через 200 минут.

Важным наблюдением является нелинейный характер полученной зависимости: изменение интервала на 1 минуту в диапазоне от 8 до 12 минут

приводит к довольно резкому сокращению времени до выхода на критическую норму вагонного парка на ограничивающей перегон станции, в то время как дальнейшее увеличение интервала приводит к менее выраженному, но всё же существенному снижению запаса времени. Данная особенность указывает на высокую чувствительность системы к изменениям графика вблизи исходных значений и требует от поездного диспетчера повышенного внимания при отклонениях от планового расписания.

Показатель времени достижения критической загрузки и зоны риска. Для оценки риска переполнения железнодорожной станции вагонами авторами предлагается количественный измеримый показатель – *время достижения предельного рабочего парка технической станции*. Данный показатель будем определять как временной интервал от момента изменения режима отправления до момента, когда количество вагонов на ограничивающей станции впервые достигает или превышает установленный критический порог.

Для практического применения результатов разработана классификация интервалов отправления по степени риска переполнения станции:

Таблица 2

Классификация интервалов отправления по степени риска

Зона риска	Интервал отправления, мин	Время до критической загрузки, мин	Характеристика и рекомендуемые действия
Низкий	8	∞	Система устойчива, критический уровень не достигается. График может выполняться без корректировок
Умеренный	9–12	540–1629	Запас времени значителен от 9 до 27 часов. Вследствие высокой чувствительности, даже небольшое увеличение интервала резко сокращает время до предела. Регулярный мониторинг и оперативное реагирование при первых признаках отклонения
Повышенный	13–16	230–400	Запас времени составляет от 4 до 7 часов. Чувствительность средняя. Увеличение частоты отправления в загружаемом направлении или перенаправление части вагонопотока на альтернативные маршруты
Высокий	> 16	< 200	Критическая загрузка достигается менее чем за 3 часа. Риск переполнения максимален. Требуется немедленная корректировка графика движения или временная приостановка приёма поездов на станцию

Предложенная классификация позволяет диспетчеру не только констатировать текущий уровень загрузки, но и прогнозировать момент наступления критического состояния, что даёт временной запас для принятия превентивных мер.

Практическая значимость для диспетчерского управления. Разработанный цифровой двойник и предложенная методика оценки рисков могут быть интегрированы в существующие автоматизированные системы диспетчерского управления. В отличие от традиционных систем, которые реагируют на уже возникшие отклонения, предложенный подход позволяет предвидеть развитие ситуации и заблаговременно выбирать оптимальные управленческие воздействия.

Например, возможные сценарии использования могут включать:

– адаптивное прогнозирование графика движения при возникновении сбоев в одном из направлений;

– расчёт допустимого диапазона межпоездных интервалов для определенного участка без риска переполнения станций;

– обоснование решений о перенаправлении вагонопотоков на альтернативные маршруты или даже виды транспорта, применение альтернативных систем управления движением [4];

– оценку эффективности предлагаемых диспетчерских решений до их реализации в реальном времени.

Цифровой двойник имеет особое значение в условиях перехода на беспилотное движение, когда число поездов, следующих в автоматическом режиме, динамически меняется, и традиционных методов учета пропускной способности становится недостаточно.

Заключение. Разработанный цифровой двойник двухпутного железнодорожного участка позволяет моделировать движение беспилотных грузовых поездов и оценивать динамику загрузки технических станций. Авторами предложен показатель времени достижения критического рабочего парка, который позволяет проводить оценку запаса пропускной способности на основе загрузки станции. Кроме того, он может быть использован для прогнозирования рисков ее переполнения. Разработанная модель является универсальной и может быть адаптирована для любых двухпутных участков с автоблокировкой, а также использована для обучения диспетчерского персонала работе в нештатных ситуациях.

Библиографический список

1. Черняк, А. Р. Специализированные грузовые линии как способ увеличения провозной способности транспортной сети в условиях развития добывающей промышленности / А. Р. Черняк // Фундаментальные

и прикладные вопросы транспорта. – 2024. – № 2(13). – С. 36–43. – Текст : непосредственный.

2. Хабаров, В. И. Создание имитационной модели движения поездов с использованием мультиагентного и дискретно-событийного подходов на примере Западно-Сибирской железной дороги / В. И. Хабаров, К. В. Красникова // Известия Транссиба. – 2017. – № 3(31). – С. 143–154. – Текст : непосредственный.

3. Гончарова, Н. Ю. Использование методов имитационного моделирования в железнодорожном транспорте / Н. Ю. Гончарова, Р. Ю. Упырь, А. В. Дудакова // Мировые научные парадигмы в цифровую эпоху: взгляд в будущее : материалы VIII Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 30 октября 2022 г. Часть 2. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «Манускрипт», 2022. – С. 72–75. – Текст : непосредственный.

4. Кокурин, И. М. Оценка пропускной способности железнодорожных линий на основе имитационного моделирования процессов перевозок / И. М. Кокурин, В. А. Кудрявцев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2012. – № 2. – С. 18–22. – Текст : непосредственный.

5. Упырь, Р. Ю. Методика пропуска поездов на ограничивающем перегоне в режиме «виртуальная сцепка» как задача динамической оптимизации вагонного парка / Р. Ю. Упырь // Известия Транссиба. – 2026. – № 2(66). – С. 46–53. – Текст : непосредственный.

6. Официальные материалы и кейсы AnyLogic. – URL : https://www.anylogic.ru. – Текст : электронный.

7. Tao F. Digital twin in industry: State-of-the-art / F. Tao et al. // IEEE Transactions on industrial informatics. – 2018. – Т. 15. – № 4. – С. 2405–2415. – Текст : непосредственный.

8. Macal, C. M. Tutorial on agent-based modelling and simulation / C. M. Macal, M. J. North // Journal of Simulation. – 2010. – Vol. 4. – P. 151–162. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Упырь Роман Юрьевич, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, roman.upyr@gmail.com ;

Дудакова Анастасия Владимировна, к.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», г. Иркутск, Россия, dunas1@yandex.ru.

Фалалеев А. В.

ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ЦИФРОВУЮ ЛОГИСТИКУ: УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕВОЗКАМИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В статье рассматривается интеграция интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в цифровую логистику как ключевой фактор модернизации управления железнодорожными перевозками. Анализируются современные технологии (Big Data, IoT, цифровые двойники), практические примеры внедрения как в России, так и за рубежом, а также экономический и операционный эффект. Освещаются барьеры внедрения и перспективы развития ИТС в железнодорожной отрасли.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы (ИТС); цифровая логистика; железнодорожный транспорт; управление перевозками; Big Data; IoT (интернет вещей); цифровые двойники; интеграция; оптимизация маршрутов; цифровая трансформация.

Введение. Железнодорожный транспорт остается ключевым элементом транспортной системы России. В отчете ОАО «РЖД» за 2024 год упоминалось, что в структуре видов транспорта на рынке лидирует железнодорожный с долей 84,4 %. При этом речь шла о доле в общем объеме транспортно-логистических услуг, а не только грузоперевозок. Однако рост объемов грузоперевозок, ужесточение требований к срокам доставки и необходимость снижения издержек ставят перед отраслью задачу глубокой цифровой трансформации [1].

Ключевым решением становится интеграция интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в цифровую логистику – это позволяет перейти к управлению перевозками нового поколения, основанному на данных в реальном времени, предиктивной аналитике и автоматизации процессов.

На данный момент в этом направлении можно обозначить следующие проблемы:

– традиционные методы организации и управления железнодорожными перевозками сталкиваются с рядом ограничений:

– низкая прозрачность грузопотоков на всем маршруте следования;

– задержки из‑за несогласованности работы разных участков сети;

– неэффективное использование подвижного состава и инфраструктуры;

– высокая доля ручного управления и принятия решений;

– отсутствие предиктивных инструментов для предотвращения сбоев.

При этом внедрение ИТС не только повышает безопасность движения, но и создает основу для комплексной оптимизации логистических процессов. Кроме того, цифровая трансформация должна охватывать все этапы перевозочного процесса – от планирования до доставки» [12].

Цель данной статьи – рассмотреть механизмы интеграции ИТС в цифровую логистику и оценить их влияние на эффективность управления железнодорожными перевозками.

Рассмотрим перечень шагов для достижения поставленной цели:

Шаг 1. Изучить текущее положение дел, чтобы понять, насколько развиты цифровая логистика и ИТС на железных дорогах в данный момент.

Шаг 2. Выбрать подходящие технологии для обеспечения интеграции ИТС с логистическими процессами.

Шаг 3. Рассмотреть отечественный и зарубежный опыт внедрения подобных систем.

Шаг 4. Оценить, насколько внедрение ИТС сократит расходы и улучшит работу, то есть рассчитать экономический и операционный эффект.

Шаг 5. Определить перспективы развития данной идеи и потенциальные трудности (нехватка оборудования, сложности с обучением персонала и т. д.).

Важно помнить, что ключевым моментом будет являться создание единой информационной среды, без которой даже самые продвинутые технологии не дадут желаемого результата. При работе в единой цифровой системе повышается безопасность движения и улучшается эффективность организации перевозок [3].

На сегодняшний день цифровая логистика на железнодорожном транспорте включает:

– системы мониторинга подвижного состава (GPS/ГЛОНАСС);

– электронные накладные и документооборот;

– платформы для взаимодействия грузоотправителей и операторов;

– системы планирования маршрутов и расписаний.

Интеллектуальные транспортные системы добавляют к этому:

– предиктивную аналитику на основе Big Data;

– машинное обучение для прогнозирования задержек и оптимизации расписаний;

– цифровые двойники инфраструктуры и подвижного состава;

– автоматизированное управление движением (в т. ч. беспилотные поезда);

– IoT- датчики для мониторинга состояния путей, вагонов, грузов.

Ключевым элементом ИТС является создание единой информационной среды, обеспечивающей обмен данными между всеми участниками перевозочного процесса в режиме реального времени. Это подтверждается выводами Рогулина Р.С., который отмечает, что интеграция данных из различных источников позволяет повысить точность прогнозирования на 30–40 % [8].

Ключевыми технологиями интеграции выступают:

– единая цифровая платформа для обмена данными между участниками перевозок;

– API‑интеграция существующих систем (АСУЖТ, ЭТРАН и др.);

– облачные вычисления и edge‑computing для обработки данных в реальном времени;

– блокчейн для безопасного электронного документооборота;

– интерфейсы для взаимодействия человека и машины (HMI) [4].

Современные технологии активно внедряются на железные дороги. Компания ОАО реализует ряд проектов по внедрению ИТС в цифровую логистику:

Например, система «Цифровой двойник инфраструктуры» создает виртуальную копию железнодорожной сети. С ее помощью специалисты заранее видят, где могут возникнуть проблемы с путями, стрелками или контактной сетью, и планируют ремонт до того, как случится авария, что помогает предотвратить задержки.

Еще одна разработка – автоматизированная система управления перевозками (АСУП), которая содержит всю информацию о грузах, вагонах, и расписании. Благодаря этому железнодорожная сеть используется эффективнее.

Для грузоотправителей создана платформа «Грузовые перевозки», благодаря чему они могут: бронировать вагоны онлайн; отслеживать перемещение грузов; работать с электронными накладными [10].

Практический результат уже заметен. Установка IoT‑датчиков для мониторинга состояния поездов позволила сократить внеплановые ремонты на 22 % и повысить безопасность движения. Кроме того, спользование цифровых двойников помогло снизить эксплуатационные расходы на 15 %, что подтверждают исследования Зуева Д.В. и Бочкарева С.В. [2, 5].

Похожие технологии применяют и за рубежом:

– Deutsche Bahn (Германия) использует искусственный интеллект, чтобы прогнозировать спрос и гибко менять цены;

– DB Cargo (Европа) контролирует температуру и состояние грузов в реальном времени с помощью датчиков;

– CSX (США) тестирует беспилотные маневровые локомотивы с ИИ‑управлением [6, 7].

Каких результатов это помогает достигнуть?

– Расходы снижаются на 10–15 % за счет более разумного использования вагонов и локомотивов;

– Все участники процесса видят статус груза онлайн – повышение прозрачности;

– Аварий становится на 25–30 % меньше благодаря своевременному обслуживанию путей и составов;

– Рутинные задачи (оформление документов, диспетчеризация) выполняются автоматически – сотрудники сосредотачиваются на решение более важных задач;

– Компания быстрее реагирует на изменения спроса: ресурсы перераспределяются в режиме реального времени.

– Экологический след железных дорог уменьшается в виду оптимизации режимов движения и сокращения энергопотребления на 8–12 %.

Эти выводы подтверждаются исследованием, в котором отмечается, что цифровые технологии позволяют снизить выбросы CO_2 на 7–10 % при сохранении объемов перевозок [11].

Несмотря на очевидные преимущества, интеграция ИТС и цифровой логистики сталкивается с рядом барьеров:

– высокая стоимость внедрения (миллиарды рублей для крупной сети);

– необходимость модернизации существующей инфраструктуры;

– дефицит квалифицированных кадров в области ИИ и Big Data;

– вопросы кибербезопасности при работе с большими массивами данных;

– нормативно‑правовые ограничения (стандарты обмена данными, регулирование беспилотного транспорта).

Перспективы развития:

– масштабирование успешных пилотных проектов на всю сеть ОАО «РЖД»;

– развитие государственно‑частного партнерства для финансирования ИТ‑решений;

– создание единой цифровой экосистемы с участием всех видов транспорта;

– внедрение квантовых вычислений для сверхточной оптимизации маршрутов;

– расширение применения беспилотных технологий в грузовых перевозках [9].

Таким образом, можно сделать выводы, что интеграция интеллектуальных транспортных систем в цифровую логистику – не просто тренд, а необходимость для обеспечения конкурентоспособности железнодорожного транспорта в XXI в.

Ключевые выводы:

1. Внедрение ИТС позволяет перейти от реактивного управления перевозками к предиктивному, основанному на анализе данных.

2. Экономический эффект выражается в сокращении сроков доставки, снижении затрат и повышении надежности.

3. Первые пилотные проекты показывают свою работоспособность и эффективность, но для получения максимального эффекта необходимо внедрять ИТС на всей сети железных дорог.

4. Задача на ближайшие 3–5 лет решить три ключевые задачи:
найти инвестиции для закупки оборудования, разработки ПО и обучения персонала; подготовить специалистов, которые смогут обслуживать внедряемые системы; адаптировать стандарты, чтобы они соответствовали новым технологиям.

5. В перспективе развития ИТС могут быть созданы полностью автоматизированные грузовые коридоры и беспилотные поезда. Для этого должна существовать единая цифровая платформа, куда будут поступать данные от всех участников перевозок.

В заключение стоит отметить, что несмотря на текущие сложности, развитие ИТС и их интеграция в цифровую логистику – это инвестиция в будущее железнодорожного транспорта. Искусственный интеллект, машинное обучение и автономные поезда способны сделать перевозки быстрее, надежнее и экологичнее.

Библиографический список

1. Аналитический отчет ОАО «РЖД» за 2024 год. – URL : https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=216311 (дата обращения: 29.05.2026). – Текст : непосредственный.

2. Васильева, В. С. Интеллектуальные железные дороги: как IoT революционизирует обеспечение движения поездов / В. С. Васильева, А. И. Ваганова // Вестник науки. – 2026. – Т. 1. – № 1(94). – С. 395–401. – Текст : непосредственный.

3. Гельманова, З. С. Развитие транспортных коммуникаций / З. С. Гельманова, Д. В. Макаркин, А. Р. Сайфуллина // Endless light in science. – 2024. – № 31, октябрь. – С. 3–7. – Текст : непосредственный.

4. Железнодорожный транспорт : журнал. – 2023. – № 4. – Москва : Транспорт, 2023. – 88 с. – URL : https://www.zdt-magazine.ru/archive/2023/no4/ (дата обращения: 01.06.2026). – Текст : электронный.

5. Зуев, Д. В. Цифровой двойник инфраструктуры железнодорожной автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» / Д. В. Зуев, С. В. Бочкарев // Транспорт Российской Федерации : журнал о науке, практике, экономике. – 2022. – № 3(100). – С. 19–22. – Текст : непосредственный.

6. Официальный сайт Deutsche Bahn. – Раздел Digitalisation. – 2023. – URL : https://www.deutschebahn.com/digitalisation (дата обращения: 29.05.2026). – Текст : электронный.

7. Пресс‑релиз CSX Corporation о тестировании беспилотных маневровых локомотивов с ИИ‑управлением. – 2022. – URL : https://www.csx.com/news/ai-locomotives-2022 (дата обращения: 29.05.2026). – Текст : электронный.

8. Рогулин, Р. С. Использование методов анализа данных и машинного обучения для прогнозирования и планирования спроса при управлении цепочками поставок / Р. С. Рогулин // Теоретическая экономика. – 2023. – № 8(104). – С. 35–53– Текст : непосредственный.

9. Сафиуллин, Р. Н. Системный подход к эффективному применению интеллектуальных транспортных технологий в функциональной диагностике элементов и устройств транспортных средств / Р. Н. Сафиуллин, А. Ф. Залюбовский, К. В. Сорокин // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2024. – № 2(68). – С. 56–63. – Текст : непосредственный.

10. Столяров, А. Д. Цифровая трансформация логистики предприятия с использованием цифровых двойников / А. Д. Столяров, А. М. Файзуллина, В. И. Абрамов // Beneficium. – 2024. – № 2(51). – С. 23–31. – Текст : непосредственный.

11. Уланов, А. А. Проблема углеродного следа в мире и его сокращение на железной дороге / А. А. Уланов, М. П. Лыкова // Мир науки и мысли. The World of Science and Ideas. – 2023. – № 1. – С. 156–160. – Текст : непосредственный.

12. Фалалеев, А. В. Интеллектуальная транспортная система железнодорожного транспорта: путь к безопасности, эффективности и устойчивому развитию / А. В. Фалалеев. – Москва : Транспорт, 2023. – 184 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторе:

Фалалеев Александр Владимирович, преподаватель Кировского техникума железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образо-

вания «Приволжский государственный университет путей сообщения», КиТЖТ – филиал ПривГУПС, Кировская область, г. Киров, Россия, alfal1997@mail.ru.

Фомичева М. Ю., Лубенцов А. В.

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ODS-СИСТЕМ ДЛЯ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ

В работе исследуется состояние и технические вызовы импортозамещения в области систем распознавания препятствий (ODS-систем) для развития и дальнейшего внедрения беспилотного железнодорожного транспорта в Российской Федерации. Рассматривается переход от зарубежной программно-аппаратной составляющей систем к отечественным аналогам, проводится анализ уже существующих комплексов систем распознавания препятствий. Производится оценка текущего уровня цифровизации транспортных процессов.

Ключевые слова: импортозамещение, железнодорожный транспорт, ODS-системы, распознавание препятствий, техническое зрение, беспилотные поезда, искусственный интеллект, микропроцессоры, радары, лидары.

Цифровизация с каждым днем затрагивает все больше областей производства и менеджмента, и внедрение беспилотного рельсового транспорта является ярким подтверждением развитием цифровой трансформации транспортного комплекса России. Безопасное беспилотное управление рельсовым транспортом обеспечивается надежностью систем автоматического обнаружения препятствий (ODS), базирующихся на использовании технологий искусственного интеллекта.

ОАО «РЖД», обеспечивая московское центральное кольцо (МЦК) и маневровые локомотивы передовыми технологиями, до 2022 года опиралась исключительно на международное сотрудничество. Программное обеспечение с открытым кодом, лазерные сканеры LiDAR и графические процессоры NVIDIA – достижения зарубежных компаний, которыми активно пользовалось ОАО «РЖД» до введения санкций и ухода зарубежных вендоров с российского рынка. Таким образом, создание отечественных аналогов программно-аппаратного комплекса систем обнаружения препятствий на базе ИИ становится важным направлением для обеспечения транспортной безопасности страны.

Система распознавания препятствий (ODS) должна учитывать физические показатели самих поездов, чей тормозной путь составляет от 1000 до 1500 метров в зависимости от типа локомотива, поэтому детекция объектов должна проводиться на расстояниях много больше тормозного пути и в условиях плохой видимости. На рис. 1 представлены компоненты систем ODS, попавшие под экспортные ограничения, и без которых будет нарушена структура сенсорного и вычислительного профиля.

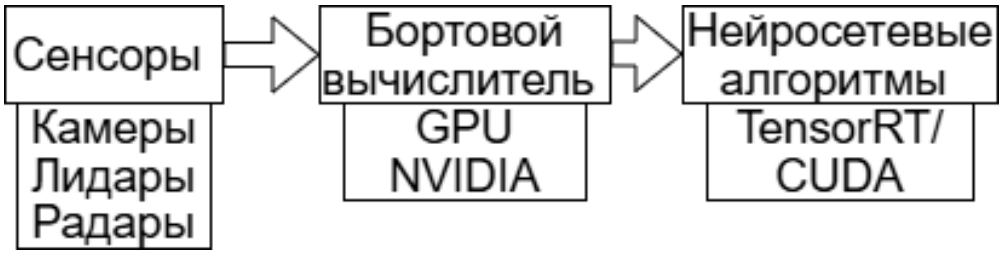


Рис. 1. Наполнение систем ODS

Механические лидары от компаний Velodyne и Ouster обеспечивают точное построение 3D-моделей окружающего пространства, а графические процессоры архитектуры NVIDIA Ampere являются основой применений сложных сверточных моделей искусственного интеллекта для принятия решений в реальном времени. Наряду с сенсорами и бортовыми вычислителями, нейросетевые алгоритмы, реализованные на базе экосистем CUDA и TensorRT, также стали недоступны из-за того, что находятся под контролем зарубежных компаний.

Российские разработчики начали процесс замещения высокопроизводительных графических процессоров (GPU), служащих «глазами» на борту подвижного состава, сместив фокус на использование специализированных ИИ-ускорителей и тензорных процессоров (NPU). Это связано с фактическими ограничениями производственных возможностей цехов при выпуске аналогов кремниевых чипов общего назначения. Процессы серии «НТЦ Модуль» и специализированные вычислительные модули на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) отечественного производителя отстают по вычислительной мощности в терафлопсах (единица вычисления производительности) от продуктов NVIDIA, однако имеют достойные показатели требуемой частоты обработки видеопотока – 25–30 кадров в секунду, что позволяет реализовать задачи детекции.

Чтобы провести импортозамещение системы сенсоров, отечественные производители начали разработку специализированных камер высокого разрешения с динамическим диапазоном (WDR), которые еще

предстоит адаптировать для работы в экстремальных погодных условиях. Если рассматривать достижения в области разработки радаров, которые бы не уступали зарубежным Bosch и Continental, то можно сказать, что налажено производство радиолокационных станций миллиметрового диапазона в 76–77 ГГц, которые обеспечивают детекцию крупных объектов на расстоянии до 1000 метров. В совокупности с твердотельным лидаром ближнего и среднего радиуса действия, которые будут устойчивы к вибрационным нагрузкам локомотивов, комплекс сенсоров будет соответствовать нормам систем ODS по покрываемому расстоянию.

Разработчики из НИИ автоматизации и связи на железнодорожных путях, чтобы не зависеть от закрытых технологий NVIDIA CUDA, перешли на открытые стандарты OpenCL и архитектуру Vulcan API, что также позволило ускорить вычисление на тензорных процессорах [1]. В качестве операционной системы теперь используются защищенные отечественные ОС на базе ядра Linux – Astra Linux и РЕД ОС, которые сертифицированы под требования безопасности критической информационной инфраструктуры.

В России, исходя из политического курса, не стали использовать зарубежные технологии нейронных сетей, обученные на моделях весов COCO (общие объекты в контексте) и ImageNet, а сформировали свою уникальную специализированную базу данных железнодорожных сценариев, элементы которой представлены н рис. 2.



Рис. 2. Элементы базы данных

Отечественный аналог технологии глубокого обучения архитектурно построен по образу зарубежных YOLO и U-Net, и полностью адаптирован к российским платформам и библиотекам оптимизации систем принятия решений. Сегодня переработанная архитектура отечественной системы ODS визуализирована на рис. 3.

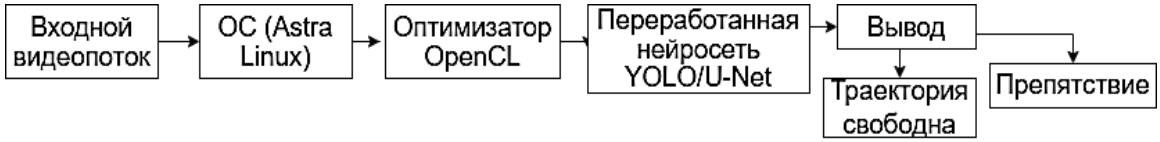


Рис. 3. Отечественная модификация системы ODS

Для обеспечения безопасности беспилотных поездов важно оснащать программно-аппаратными средствами обнаружения препятствий не только сами поезда, но и ключевые сооружения, мимо которых проходит маршрут следования состава [2]. Отечественные производители уже разработали несколько систем, сравнение которых представлено в Таблице.

Импортозамещение элементов системы обнаружения препятствий на пути беспилотного железнодорожного транспорта сталкивается с рядом барьеров, главным из которых отсутствие в Российской Федерации заводов, способных массово производить микропроцессоры менее 16 нм. Также весомым препятствием является несоответствие российских стандартов безопасности вызовам нового времени – применению искусственного интеллекта в процессе принятия решений [3].

Таблица

Сравнение систем обеспечения безопасности на ЖД-транспорте

Критерий сравнения	Универсальное УЗП с единым контроллером	Радарный комплекс «Салют» на основе СВЧ	Система предотвращения столкновений от УОМЗ	Блок обнаружения препятствий от НИИАС
Тип системы	Стационарная	Стационарная	Бортовая, лазерная система	Бортовая, интеллектуальный аппаратно-программный комплекс
Место установки	Железнодорожный переезд (полотно автодороги)	Железнодорожный переезд (на опорах по краям переезда)	Главная рама локомотива	Борт локомотива (кабина и рама)
Физический принцип работы	Механическое поднятие плит, работа ультразвуковых датчиков свободности зоны	СВЧ-излучение (радар с разнесенными излучателем и приемником)	Лазерное сканирование (лидар) + оптические каналы	Техническое зрение (мультиспектральные камеры, радары/лидары) +ИИ

Окончание Таблицы

Критерий сравнения	Универсальное УЗП с единым контроллером	Радарный комплекс «Салют» на основе СВЧ	Система предотвращения столкновений от УОМЗ	Блок обнаружения препятствий от НИИАС
Основное назначение	Физическое недопущение выезда автомобилей на пути при закрытом переезде	Физическое обнаружение людей и машин в зоне переезда и передача сигнала машинисту	Измерение точного расстояния до препятствий по ходу движения локомотива	Автоматизация маневров, распознавание объектов, сигналов светофора и положения стрелок
Зона действия	В пределах ширины проезжей части (от 6 до 10 м)	Границы контролируемой зоны переезда (между передатчиком и приемником)	До 100–150 м	До 600 м
Зависимость от погодных условий	Средняя (требуется обогрев зимой от наледи, датчики забиваются грязью/ снегом)	Нулевая (СВЧ-сигнал эффективно работает в условиях тумана, ливня, снегопада.	Средняя (сильный туман, ливень и метель могут снижать точность лазерного луча оптики)	Минимальная (комплекс независимых датчиков и алгоритмы ИИ)
Уровень автоматизации	Автоматический (сигнализация переезда) +ручной (пульт дежурного)	Автоматический непрерывный мониторинг	Автоматический контроль с функцией экстренного вмешательства в торможение	Является базой для беспилотного управления локомотивом

Российские инженеры, в короткие сроки, в условиях технологической «изоляции» развивают сложное направление – обеспечение беспилотного управления железнодорожным транспортом, и делают определенные успехи в этой области. Так, на МЦК проходит подконтрольная эксплуатация электропоездов «ласточка» с установленными российскими системами беспилотного ведения, которые могут распознавать человека на расстоянии до 600 метров с низким уровнем ложных срабатываний. Строго говоря, 600 метров меньше условной 1000 метров тормозного пути, но беспилотное управление в России находится только в начале своего развития, и это хороший промежуточный результат.

Достойный уровень импортозамещения и дальнейшего развития беспилотного управления железнодорожным транспортом достижима только при усиленной поддержке государства и корреляцией с развити-

ем отечественной электронной компонентной базы. Также остается важным направление внедрения технологий искусственного интеллекта, обученного на отечественных моделях и базах данных, со строгой стандартизацией и сертификацией.

Библиографический список

1. Бочков, А. В. Обзор заседаний секций Научно-технического совета АО «НИИАС» в первом полугодии 2025 года. – Текст : непосредственный.

2. Попов, А. И. Управление рисками организации беспилотного вождения (на примере проекта ОАО «Российские железные дороги») : магистерская диссертация: дис. – б. и., 2021. – Текст : непосредственный.

3. Фомичева, М. Ю. Стандартизация и сертификация алгоритмов искусственного интеллекта в научных исследованиях: проблемы и перспективы / М. Ю. Фомичева // V научно-педагогические чтения молодых ученых имени профессора С. В. Познышева : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 16 апреля 2025 г. – Воронеж : Строки: Воронежский институт ФСИН России, 2025. – Т. 1. – С. 100–103. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Фомичева Маргарита Юрьевна, курсант 3 курса инженерно-технического факультета, Воронежский институт ФСИН России, Воронежская область, г. Воронеж, Россия, e-mail: lubensov@mail.ru ;

Лубенцов Александр Витальевич, кандидат географических наук, доцент, профессор кафедры «Основы радиотехники и электроники» ФКОУ ВО «Воронежский институт ФСИН России», г. Воронеж, Россия, lubensov@mail.ru.

Черномаз В. А., Грозов И. С.

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ КАК ЛОГИСТИЧЕСКАЯ АРТЕРИЯ: ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК, ИНФРАСТРУКТУРНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО ГРУЗООБОРОТА

В статье анализируется Северный морской путь как альтернатива Суэцкому каналу. Рассматриваются ключевые порты (Мурманск, Архангельск), динамика грузопотока, ледокольный флот и проблемы

навигации. Оцениваются перспективы достижения целевого грузооборота в 200 млн тонн к 2035 году и роль СМП в российской логистике.

Ключевые слова: СПМ, развитие, грузооборот, динамика, перспективы, инфраструктура.

Введение

Северный морской путь – это важный морской путь, который набирает обороты в современном мире. Мало изученный, не приспособленный, но имеющий большой потенциал развития. На данный момент это кратчайший водный маршрут между европейской частью России и Дальним Востоком, проходящий вдоль северного побережья по морям Северного Ледовитого океана. Он располагается на территории российских земель и полностью принадлежит России. Это дает полное право распоряжаться всеми перевозками, которые осуществляются на территории этого пути. Полная независимость от других стран делает его стратегически важным и нужным маршрутом, в условиях давления со стороны враждебных государств.

Недоступный для других стран, закрытый от внешнего мира – это все про северный морской путь. Однако с каждым годом благодаря потеплению и развитию атомного ледокольного флота навигационный период на Севморпути постепенно увеличивается, открывая перспективы для круглогодичной проводки судов. Россия активно модернизирует портовую инфраструктуру вдоль трассы — от Мурманска до Петропавловска-Камчатского, строит новые терминалы и аварийно-спасательные центры. В результате Северный морской путь из труднодоступной и закрытой артерии превращается в стратегическую транспортную магистраль, способную составить конкуренцию традиционным маршрутам через Суэцкий канал.

Инфраструктура

Северно морской путь растягивается на 5,6 тыс. км, соединяет Баренцево море (район Мурманска) с Беринговым проливом (бухта Провидения), проходя через Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря.

Маршрут не специализируется только на одном типе груза, он способен осуществлять логистик, как нефтепродуктов со сжиженным природным газом, так и контейнеры, стройматериалы, уголь и железорудный концентрат. Большинство груза (95 %) перевозятся на экспорт в Китай, который является, важным партнёром для российской экономики в целом.

Начальной точкой можно считать порт Мурманск. Он занимается загрузкой и разгрузкой судов различного спектра от навалочных и наливных до генеральных. Максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала (осадка, длина, ширина) (м): 12,5 / 225 / 32,25. Порт является самым крупным незамерзающим на данном участке и базой для атомного ледокольного флота. Грузооборот составил 47 млн тонн, что для современных реалией делает этот порт достаточно важным в развитии экономики нашей страны, ведь с учётом суровых условиях, достижение таких показателей является хорошим результатом [4].

Порт Архангельск – это исторически важный транспортный узел, обеспечивающий прямой выход в Мировой океан и Белое море, что критично для навигации в западном и восточном направлениях. Ключевыми плюсами являются роль важной базы Северного пароходства для грузов (уголь, лес, оборудование) и ключевой точки для освоения Арктики. Максимальные габариты судов, обрабатываемых у морского терминала (осадка, длина, ширина) (м): 9,2 м / 190,0 м / 30,0. Грузооборот составил 13,8 млн тонн, что относительно немного для порта, но в условиях севера показатель становится весомым. Несмотря на относительно скромный грузооборот, порт Архангельск остаётся незаменимым звеном в системе северного завоза и стратегическим форпостом России в Арктическом регионе [4].

В Арктическом бассейне указанные порты являются ключевыми опорными точками и «воротами» в западном секторе СМП, а такие порты, как Сабетта и Дудинка, служат важнейшими узлами для вывоза сжиженного природного газа и металлов. На противоположном, восточном конце, дальневосточные порты, в первую очередь Владивосток и Петропавловск-Камчатский, выступают главными хабами, принимающими и распределяющими грузы, прибывающие по СМП. Что касается Балтийского бассейна, то, несмотря на идеи сделать его порты «отправными точками» СМП, на практике их роль в прямом сообщении по этому маршруту ограничена из-за удалённости и географических особенностей. В свою очередь, порты Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов напрямую не входят в инфраструктуру СМП и ориентированы на другие международные коридоры.

Динамика развития

Общий рост на фоне предыдущих лет заметен и он внушителен. На рис. 1 представлен график роста грузопотока СПМ по основным типам грузов.

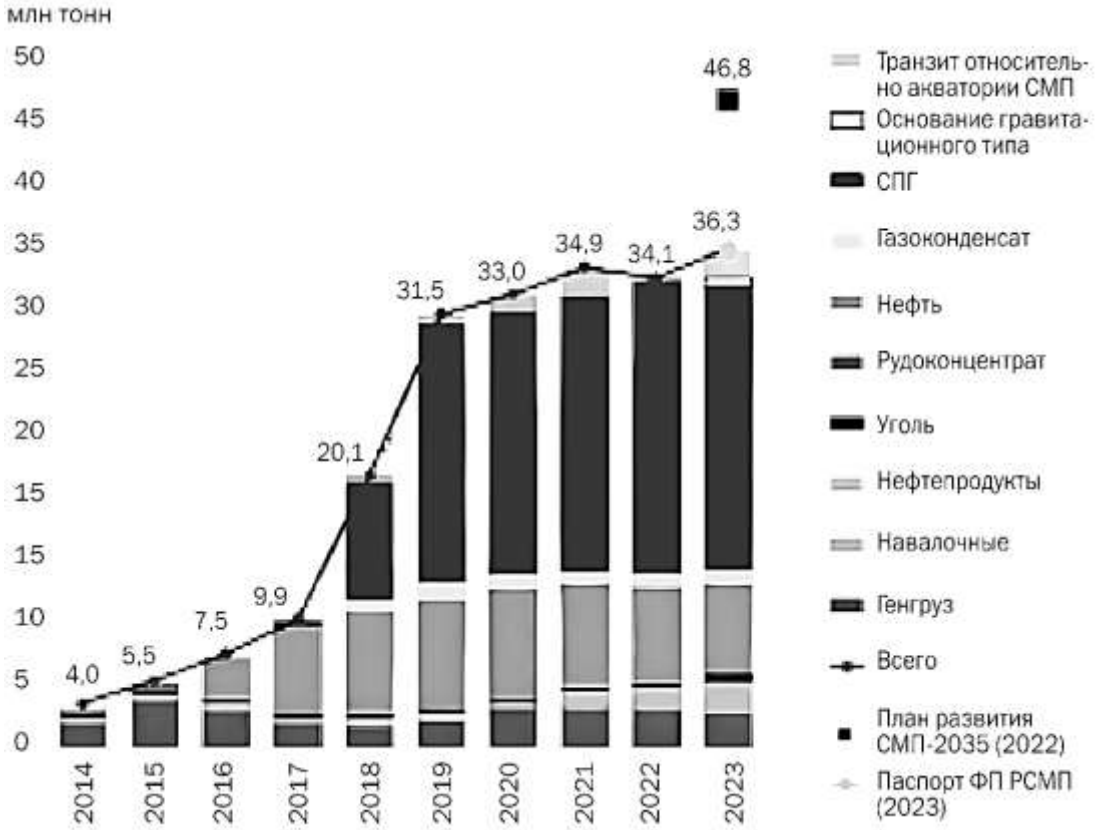


Рис. 1. Динамика грузопотоков Северного морского пути по основным типам грузов, млн тонн [1]

За последние годы стал наблюдаться заметный спад роста грузооборота и экономического роста. Например, за 2025 год произошло снижение грузооборота в Мурманске на 9,8 %, а в общей картине произошёл упадок на 6,3 %. Все это может означать то, что СМП не самый простой путь для транспортировки, который не зависит от окружающей мировой обстановке. Северный морской путь не является самым простым из-за суровых ледовых условий, короткого навигационного окна и необходимости дорогостоящего ледокольного сопровождения, что требует высокой технической оснащённости и несёт серьёзные логистические риски.

В плане о развитии СМП указано число 200 млн тонн груза, которое должно пройти через данный путь, но на данный момент эта цифра кажется нереальной, судя по динамики роста грузооборота. На 2025 год грузооборот должен был составить около 80 млн тонн, но эта цифра была не достигнута. Все это связано с тем, что сменился принцип перевозки груза. Раньше весь грузооборот строился на том, что суда перевозили необходимый для снабжения грузы, а увозили лес и полезные ископае-

мые. Сейчас все поменялось, грузооборот стал строиться только на том, что осуществляются торговые перевозки. В связи с данными изменениями какое то продолжительное время грузооборот не давал прироста.

Следующая причина, которая мешает осуществлению поставленной цели – это сложные условия плавания. Очень низкие температуры, шторма, сильный ветер, волнение, торосы ледовая угроза становятся настоящей проблемой для плавания. В таких условиях суда должны быть высокого ледового класса или находится в сопровождении ледокольного флота. На сегодняшний день насчету СМП 34 дизельных и 8 атомных ледоколов. Одним из последних проектов, которые вышли с конвейера, стал ледокол Сибирь, который способен проходить через лед почти до 3 метров, его мощность 60МВт, что делает его самым мощным во всем мире. В перспективе до 2035 года построит и ввести в эксплуатацию еще 10 судов ледового типа, которые бы помогали пробираться через суровые условия арктики, 46 аварийно-спасательных судов и 3 базы размещения аварийно-спасательного флота – сообщил вице-премьер полномочный представитель президента РФ в ДОФ Юрий Трутнев [2].

Немаловажной причиной также является затруднённая навигация. Непредсказуемые метеорологические условия создают проблему для ориентирования в океане. Помочь с данной проблемой может низкоорбитальная система спутников, которая бы помогала получать наиболее точную информацию из космоса. На данный счет, пока что еще не задумывались инженеры. Таким образом, достижение цели в 200 млн тонн грузооборота на СМП выглядит проблематичным из-за смены логистической модели на чисто торговые перевозки, а также из-за суровых арктических условий, требующих мощного ледокольного флота и совершенствования навигационных систем, которые пока не обеспечивают должной точности.

Сравнение

Суэцкий канал и Северный морской путь – это два альтернативных маршрута из Европы в Азию. Они оба имеют важное значение для транспортировки груза. Каждый из этих маршрутов обладает уникальными преимуществами и серьёзными ограничениями, обусловленными географическими и климатическими факторами. Северный морской путь короче и независим от внешней политики, тогда как Суэцкий канал остаётся более предсказуемым и круглогодичным вариантом [5].

Выбор между маршрутами перевозки грузов зависит только от приоритетов заказчика. Суэцкий канал надёжный и круглогодичный, но длинный, перегруженный и подвержен нападению пиратов. СМП корот-

кий и быстрый, но требует больших затрат на ледовое сопровождение и работает сезонно. Если выбирать быстроту и безопасность от пиратов, то хороший выбор будет СМП, но если вам нужна надежность, постоянность и уверенность, что судно не будет подвержено ледовой обстановке, то Суэцкий канал подходит для этого.



График 1. Сравнение маршрутов

Заключение

СМП пока не стал глобальным хабом, но уже виден огромный потенциал. Отсутствие геополитического давления, короткий маршрут и отсутствие пиратства делает путь необходимым для развития. Доставка груза может быть на 12 суток быстрее в сравнение с глобальным маршрутом (Суэцкий канал) и дешевле на 30 %, чем тот же путь, но если

брать все риски, то переправка через Северно-ледовитый океан может оказать в трое дороже, чем в других районах, а наличие льдов делает этот маршрут непосильным для неподготовленных судов.

До 2035 года планируется потратить 1,8 до 2 трлн рублей. На 2025 год грузопоток составил 37 млн тонн, а на 2035 год планируется преодалеть барьер в 200 млн тонн. Для достижения целевого показателя в 200 млн тонн к 2035 году потребуется не только наращивание ледокольного флота, включая строительство сверхмощных атомоходов, но и масштабная модернизация портовой и береговой инфраструктуры вдоль всей трассы. Без опережающего развития терминалов в Арктике и на Дальнем Востоке, а также без круглогодичной навигации в восточном секторе, запланированный грузопоток останется труднодостижимым, несмотря на рекордные инвестиции [3].

Моряки относятся к СМП уважительно, но с большой настороженностью. Это маршрут для сильных духом и технически готовых судов, где выгода от сокращения пути напрямую балансирует рисками для жизни и здоровья.

Для того чтобы этот путь стал мировым, даже при условии наличии хорошей инфраструктуры для навигации, огромного количества ледокольного флота и благоприятной погоды, им должно заинтересоваться большое количество людей. Один из способов достижения данной цели является развитие морского туризма проходящего через этот путь. Проходя водные маршруты через Арктику и СМП, люди больше узнают о проблемах связанных с логистикой. Морской туризм поможет укрепить экономику дальних регионов, портовых городов, что стало бы хорошим фундаментом дальнейшего роста.

Библиографический список

1. Грузы для Севморпути. – URL : https://portnews.ru/magazine/portnews/a485/. – Текст : электронный.

2. Лихачев, А. «Росатом» готовит СМП к круглогодичной навигации / Лихачев Алексей, Летова Юлия. – URL : https://strana-rosatom.ru/2026/04/15/rosatom-gotovit-smp-k-kruglogodichn/. – Текст : электронный.

3. План развития Северного морского пути на период до 2035 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 1 августа 2022 г. № 2115-р]. – URL : http://static-government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6V2sF6wbOKSyxNzw.pdf. – Текст : электронный.

4. Морские порты. – URL : https://www.rosmorport.ru/filials/mur_seaports/. – Текст : электронный.

5. Северный морской путь. – URL : http://dfo.gov.ru/project/econom/seaway/. – Текст : электронный.

Сведения об авторах:
Черномаз Вячеслав Анатольевич, к.и.н., доцент кафедры «Социально-гуманитарные науки», МГУ имени адмирала Г. И. Невельского, Приморский край, г. Владивосток, Россия, ChernomazVA@msun.ru ;
Грозов Иван Сергеевич, курсант, МГУ имени адмирала Г. И. Невельского, Приморский край, г. Владивосток, Россия, grozov06@bk.ru.

Эсаулов В. А., Багдасарян А. А.

ПРИРОДА ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА КАК РЕШАЮЩИЙ ФАКТОР РЕАЛИЗАЦИИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ

Транспортный поток – сложное понятие, от качества управления которым зависит реальный пропуск составов грузовых поездов на сети дорог. С увеличением интенсивности грузового трафика на железнодорожном транспорте все большее значение приобретает вопрос о природе транспортного потока и его влиянии на реализацию пропускных способностей направлений. В статье представлены прикладные инструменты повышения управляемости системы организации движения, основанные на преобразовании потока грузовых поездов, позволяющие сокращать разрыв между расчетной и реальной пропускными способностями.

Ключевые слова: поток транспортных средств, пропускная способность, преобразование транспортного потока, устойчивость графика движения

Главным образом изучение транспортного потока связано с существующим разрывом между расчетной и реальной пропускными способностями грузонапряженных линий. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что только на Восточном полигоне разница между теоретической пропускной способностью, определенной графиком движения грузовых поездов, и реальным подводом поездов на припортовые и пограничные станции по итогам работы за 7 месяцев 2026 г. составляет 6,3 поезда в сутки. Эта разница не позволила освоить больше 150 тыс. вагонов по показателю экспорта в анализируемом периоде. В Таблице представлен анализ потерь по выгрузке на припортовых и пограничных

станциях Восточного полигона, связанных с неполной реализацией ниток графика движения, с детализацией по службам (в вагонах). Проведенный анализ свидетельствует о существующем разрыве между расчетной и реальной пропускной способностью при организации подвода на припортовые и пограничные станции Восточного полигона.

Эволюция исследований, связанных с природой транспортного потока, позволяет говорить о том, что ряд попутно следующих поездов имеет особые характеристики, связанные, прежде всего, с несинхронностью движения, взаимным влиянием поездов, а также многообразием влияющих факторов на эксплуатационную работу (погодные условия, человеческий фактор, сценарии оперативной работы, время суток, сезоны и другие). Современная теория организации движения все чаще уходит от рассмотрения траектории поезда на участке как автономного объекта с присущими ему характеристиками к изучению транспортного потока в целом.

Таблица

Потери выгрузки, связанные с неполным использованием пропускной способности по итогам работы 7 месяцев 2026 г., вагоны

Ответственная служба	Узел Находка	Узел Владивосток	Узел Ванино	Станции направления Барановский-Хасан	Итого
Д	18902,3	6634,6	7474,8	5467,2	38478,9
Т	51744,4	8359,5	66383,0	8187,5	134674,4
ДИ	5136,4	730,1	5948,3	103,9	11918,8
Э	1794,9	722,9	0,0	0,0	2517,7
ДРП	538,9	191,5	172,7	0,0	903,1
Прочие	19066,0	1681,0	5144,7	3412,8	29304,5
"окна"	0,0	0,0	77211,7	17503,0	94714,8
Всего по службам	97182,9	18319,7	162335,1	34674,5	312512,2
Потери с учетом неиспользованных ниток ГДП	55341,2	40831,2	45236,3	9780,0	**151188,7**
Резерв	152524,1	59150,9	207571,5	44454,4	463700,9

Существуют разные подходы к исследованию организации движения грузовых поездов в интенсивном потоке, соответственно, предлагаются разные способы моделирования систем и разные методы повышения устойчивости графика движения. Принципиально можно выделить

две группы моделей, связанные с решением задач обеспечения устойчивости графика движения грузовых поездов: детерминированные и стохастические. Первая группа моделей позволяет исполнять нормативы графика движения в случае доминирования точно определенных факторов на оперативную работу, при этом не учитывается влияние случайных факторов, которые могут нарушить состояние системы. Указанный недостаток в значительной степени компенсируется, если использовать стохастическое описание процесса движения [1].

В [2] коллектив авторов обосновывает смешанную природу потока – частично случайную, частично управляемую. В работе показано влияние управляемой составляющей на транспортную очередь. В статье опровергается тезис о том, что при полной загрузке системы очередь уходит в бесконечность. Одним из ключевых выводов, к которому приходит научный коллектив, состоит в том, что преобразование потока приводит к тому, что уменьшается случайная составляющая колебаний и возрастает управляемая. Действительно, корреляционный анализ потока, представленный в [3] подтверждает вывод о том, что преобразование потока ведет к повышению его управляемости, а значит, и к повышению реальной пропускной способности (см. Рисунок).

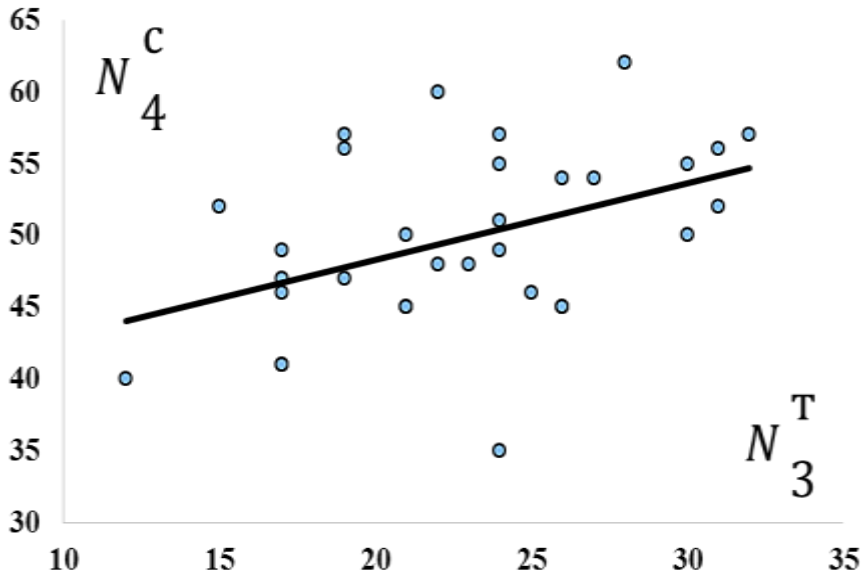


Рисунок. Диаграмма связи $N^{т}_{3}$ и N^{c}_{4}
вместе с эмпирической линейной регрессией

На Рисунке представлена линейная зависимость между двумя переменными – среднесуточным числом поездов, проходящих через горно-перевальный участок со специфическими условиями пропуска, к кото-

рому примыкает один из мощнейших хабов Восточного полигона – узел Находка (N^{c}_{4}), и числом преобразованных поездов на станциях, предшествующих данному участку (N^{T}_{3}). В проведенном исследовании под преобразованием потока понимается сопоставление тяговых характеристик ведущих локомотивов и массовых характеристик составов, планируемых к пропуску через сложный участок.

В диссертации [4] доктор технических наук Абдуллаев И.С. подробно описывает теоретические аспекты природы транспортного потока. Исследователь также говорит о несостоятельности детерминированного подхода к изучению транспортных потоков, т.к. он «страдает односторонностью», вместе с этим подчеркивает – полностью случайным поток тоже не назовешь (он подвержен управлению). Соответственно, поток имеет смешанную природу, что накладывает на его изучение существенные трудности, ведь соотношения управляемых и случайных колебаний естественным образом может меняться. Автор в своей работе приходит к одному из ключевых выводов о природе транспортного потока: «Использование пропускной способности любого канала обслуживания зависит от того, насколько велика управляемая часть в потоке». Данный вывод является одним из прорывных тезисов современной науки по организации движения грузовых поездов. Именно на основе этого вывода целесообразно строить прикладные технологии по планированию пропуска грузопотоков, а также модели функционального и инфраструктурного развития отрасли железнодорожного транспорта. Сокращение разрыва между теоретической (расчетной) пропускной способностью и реальной возможно достичь за счет преобразования потока и сопутствующему повышению управляемости железнодорожного трафика.

Проведенные ранее исследования, а также практический опыт управления коллектива авторов позволяет говорить о том, что в зависимости от железнодорожных направлений, технологических и инфраструктурных особенностей эксплуатации транспортной системы можно выделить следующие инструменты повышения управляемости потока:

1) оптимальное распределение погрузки на сети дорог в зависимости от текущего состояния транспортной системы и мультимодальной логистики;

2) использование дефицитных ресурсов графика движения (ниток графика) корреспонденциями и номенклатурами грузов, востребованными к выгрузке (исключение операций отставления/подъема составов грузовых поездов);

3) оптимальное распределение тяговых ресурсов на полигонах сети, в особенности локомотивов повышенной мощности;

4) сопоставление тяговых и весовых характеристик грузовых поездов перед горно-перевальными участками, требующими особых условий пропуска;

5) сопоставление возможностей сортировочных станций, пропускной способности направлений и структуры отправляемого потока с припортовых и пограничных станций (станций зарождения рейса) с детализацией по типам «в расформирование», «транзитный»;

6) использование тяговых характеристик локомотивов в голове поездов, а также остаточного времени до следующего цикла технического обслуживания, в зависимости от типов поездов категорий «в расформирование», «транзитный» относительно сортировочных станции массовой переработки вагонопотоков;

7) прогнозирование состояния системы, в т. ч. с использованием алгоритмов автоматизации.

Организация движения поездов в интенсивном трафике, управление и тем более прогнозирование состояния потока требует к себе использования современных инструментов его преобразования. Кроме того, аналитические формулы не позволяют в полной мере описывать движение поездов в плотном трафике, а ориентация на нитки графика движения с целью оценки пропускной способности не целесообразна без проведения диспетчерских мероприятий по обеспечению управляемости потока, позволяющих сокращать разрыв между теоретической пропускной способностью и реальным пропуском поездов.

Библиографический список

1. Эсаулов, В. А. Методы совершенствования технологии пропуска грузовых поездов на грузонапряженном направлении железной дороги : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Эсаулов Вячеслав Александрович, 2023. – 138 с. – Текст : непосредственный.

2. Козлов, П. А. Закономерности структурного взаимодействия в транспортных системах / П. А. Козлов, И. П. Владимирская, О. В. Осокин // Транспорт Урала. – 2010. – № 3(26). – С. 25–28. – Текст : непосредственный.

3. Эсаулов, В. А. Способ повышения провозной способности железнодорожного транспортного коридора / В. А. Эсаулов, Е. В. Мединцев // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». – 2025. – № 10-1. – С. 14–19. – Текст : непосредственный.

4. Абдуллаев, И. С. Теория и методы развития инфраструктуры железнодорожных полигонов : специальность 2.9.4 «Управление процес-

сами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Абдуллаев Ильдар Салимович, 2025. – 271 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Эсаулов Вячеслав Александрович, кандидат технических наук, начальник Дальневосточного отдела информационного анализа Управления логистики перевозок и местной работы Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», 680021, г. Хабаровск, ул. Калинина 66, +7 (4212) 38-44-89, доцент кафедры «Управление процессами перевозок» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС, 680021, Хабаровск, ул. Серышева 47, +7 (4212) 407-516), 8 914 356 8776, esaulov-87@mail.ru ;

Багдасарян Артём Альбертович, заместитель начальника Дальневосточной железной дороги – филиала ОАО «РЖД» (по территориальному управлению) (ОАО «РЖД», 680021, г. Хабаровск, ул. Локомотивный проезд д. 7, +7 (4212) 38-23-00), 8 914 1801748, mr.bagdasaryan@inbox.ru.

Научное издание

ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО

Материалы X Всероссийской
(с международным участием)
научно-практической конференции

(г. Чита, 24 сентября 2026 г.)

Том 1

Статьи печатаются в авторской редакции

Компьютерная вёрстка
И. А. Нерадовская

Подписано в печать 26.10.2026 г. Печать офсетная. Бумага тип. № 2.
Формат 60х84/16. Уч-изд.. л. 24,27. Тираж 100 экз.

***

672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗабИЖТ