

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ИРГУПС)**

**Забайкальский институт железнодорожного транспорта –
филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИРГУПС)**

ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО

**Материалы IX Всероссийской
(с международным участием)
научно-практической конференции**

Том 1

**Чита
2025**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ИргУПС)
Забайкальский институт железнодорожного транспорта –
филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИргУПС)

ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО

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

(г. Чита, 21 ноября 2025 г.)

Том 1

Чита
2025

УДК 378
ББК Ч 48
О 23

Редакционная коллегия:

А.А. Ерёменко (главный редактор),
Д.А. Яковлев (ответственный за выпуск), А.С. Васильев,
А.В. Ларченко, В.Г. Литвинцев, Л.В. Виноградова, Т.В. Иванова,
К.А. Кирпичников, О.Л. Быстрова, С.А. Филиппов,
М.И. Коновалова,
Д.А. Картёжников (ответственный секретарь)

О 23 ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО : материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, 21 ноября 2025 г. – Чита : ЗаБИЖТ ИрГУПС, 2025. – 557 с.

ISBN 978-5-6048128-3-9

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

УДК 378
ББК Ч 48

ISBN 978-5-6048128-3-9

© Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС), 2025
© Забайкальский институт железнодорожного
транспорта (ЗаБИЖТ), 2025
© Авторский коллектив, 2025

Уважаемые коллеги!

Представляем вашему вниманию материалы IX 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*

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'A' followed by a series of loops and a final horizontal stroke.

А.А. Ерёмenco

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭЛЕКТРОВОЗЫ, ТЕПЛОВОЗЫ И ВАГОНЫ).....	11
А. А. Будаев, Е. А. Третьяков	
Анализ данных с бортовых измерительных систем для создания цифрового двойника грузового электровоза.....	11
В. П. Клюка, П. Б. Сергеев, С. А. Мосол	
Совместная деятельность вуза и Западно-Сибирской железной дороги по внедрению в учебный процесс инновационных методов практической подготовки студентов вагонных специализаций.....	15
П. В. Кубасова	
Назначение срока службы локомотивов ЧМЭЗв/и в условиях сервисного локомотивного депо Шарья.....	23
О. А. Малышева, Н. И. Хиль	
Анализ предложений по повышению энергетической эффективности электроподвижного состава переменного тока в режиме рекуперативного торможения.....	28
С. З. Овсейчик, А. В. Коронец	
Прибор для оперативного контроля блока БВС-056 МСУД электровоза 2ЭС5К.....	37
С. Г. Истомин, О. Д. Юрасов, Д. В. Черепанов	
Повышение эффективности технического обслуживания и ремонта МВПС за счёт внедрения аддитивных технологий.....	41
В. В. Степанов, А. В. Майнингер	
Оптимизация процесса ремонта инновационных грузовых вагонов на основе использования цифровых технологий.....	51
С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов	
Усовершенствованная конструкция гидравлического гасителя колебаний для железнодорожного подвижного состава.....	57
В. В. Тюньков, В. А. Зубаков	
Функциональная безопасность конструктивных решений в узлах и деталях грузовых вагонов.....	64
А. Н. Хохряков	
Необходимость обеспечения учебных полигонов в процессе обучения электромехаников СЦБ.....	72
Р. И. Чернин	
Оценка влияния извилистого движения и температуры на контактное давление в соединении ступицы колеса с подступичной частью оси колёсной пары.....	76

М. А. Шрайбер, А. А. Кузьмин

Исследование касательных напряжений
в изоляции электрических машин локомотивов..... 81

**РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО
И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ
И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ..... 89**

Е. В. Козин

Современный подход к применению беспилотных воздушных
судов в строительстве железных дорог..... 89

А. С. Козлова, К. А. Кирпичников, В. А. Лемехова

Использование системы УРРАН
для организации тяжеловесного движения..... 94

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

Способы защиты производственных объектов от паводковых вод
в Забайкалье..... 99

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

Промерзание грунта под водоотводными канавами..... 105

Р. С. Купко

Автоматизация процесса контроля качества
алюминотермитной сварки..... 110

Р. С. Купко

Шлифование рельсов механизированным способом.
Проблемные вопросы и предложения по улучшению процесса..... 115

В. Ю. Линейцев, В. В. Фёдоров, В. В. Сальникова

Погрешности измерения скорости движения
транспортных средств на линейных объектах..... 120

А. Н. Опацких, Р. А. Дубровин, Д. И. Казачков

Об особенностях проектирования, строительства и эксплуатации
железных дорог в сложных условиях..... 130

М. И. Титаренко, Б. Э. Глюзберг, С. В. Кузнецов, И. С. Лесков

Возможности улучшения схемы путевых устройств
в зоне стрелочных переводов криволинейных горловин..... 136

М. С. Чусовитин

Усиление кривых участков железнодорожных путей
на деревянных шпалах..... 143

В. В. Шестернина

Особенности содержания путей на высокоскоростных
железнодорожных магистралях..... 147

РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ..	153
А. С. Алимасова, А. Е. Константинова,	
И. Н. Чернов, А. И. Ланкина	
Изучение методов оценки акустических параметров в помещениях для видеоконференцсвязи.....	153
Е. Е. Андреева, Ю. В. Могильников	
Автоматизация процессов ЖАТ с помощью ЦПП-Ш «Эйлер».....	159
М. В. Башаркин, Ю. В. Михайлова, Д. А. Мирошников	
Концепция совершенствования системы технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.....	165
Е. М. Бушуев, Д. Н. Каратаев	
Анализ защитных элементов от перенапряжений в промышленности..	170
М. В. Востриков, С. С. Днепровский	
Автоматизация и качественное повышение надёжности гарантийного питания устройств СЦБ за счёт использования фильтра активных гармоник в цепях собственных нужд тяговых подстанций....	175
Н. В. Гульмамедов	
Оценка доверия к программному обеспечению в контексте систем обеспечения движения поездов.....	182
Н. С. Гуляева, Ф. А. Дранишников	
Роль электрической тяги в снижении выбросов CO ₂ на железных дорогах.....	186
В. Е. Домаев, А. С. Ширнин	
Повышение надёжности электроснабжения потребителей первой категории через внедрение интеллектуальных систем автоматического ввода резерва.....	190
А. Д. Зарубин, И. Н. Леонов, Е. Ю. Пузина	
Анализ отказов оборудования тяговых подстанций.....	200
Д. В. Игнатко, К. Р. Зеленский, Л. Л. Буитрон Карпио	
Предложения по сокращению времени на диагностику элегазового оборудования.....	206
Л. В. Козиенко, А. Ю. Иванова	
Анализ работы вентилятора сетевого коммутатора с помощью метода акустического контроля.....	211
Л. В. Козиенко, В. А. Охват	
Высокоскоростные системы радиорелейной связи миллиметрового диапазона 70–80 ГГц.....	218
Е. В. Козин	
Современный подход по применению беспилотных воздушных судов в строительстве железных дорог.....	226

С. В. Крикунов, О. В. Латышев

Современные методы защиты от перенапряжений и перегрузок на тяговой подстанции..... 231

Александр Николаевич Малых, Алексей Николаевич Малых, А. В. Иванов

Анализ учёта отказов и неисправностей объектов транспортной инфраструктуры в информационных системах железнодорожного транспорта..... 239

А. С. Маниковский, Т. Д. Яковлев, Д. А. Яковлев

Определение эффективности взаимодействия систем тягового и внешнего электроснабжения..... 244

К. В. Менакер, А. М. Карташов

Усовершенствование прибора однопроводной идентификации жил нагруженного кабеля..... 253

Д. М. Муратов, Д. А. Малугин, Ю. В. Могильников

Зарубежный опыт в обнаружении дефектов в рельсах..... 258

В. А. Надежкин, С. А. Надежкина

Необходимость повышения точности локализации отказов в системах железнодорожной автоматики и телемеханики..... 265

В. Л. Незевак

Основные направления реализации концепции применения систем накопления электроэнергии на железнодорожном транспорте..... 269

М. В. Пухляков, М. Р. Токорев

Учёт внешних факторов в цифровом двойнике участка контактной сети..... 277

П. С. Сиделев, Е. Ю. Минаков

Некоторые аспекты построения стрелочных переводов с повышенным ресурсом и методы их решения..... 283

О. А. Соловьёва, И. С. Будин, Д. Д. Бабаков

Непрерывный мониторинг состояний комплектных распределительных устройств благодаря использованию нейросетевых технологий..... 289

С. А. Филиппов, А. С. Соколов, Е. Д. Шишкин

Повышение надёжности работы КРУН в части электро-пожаробезопасности..... 295

А. С. Яковлева, А. А. Сучкова

Роль устройств горочной автоматики в обеспечении безопасности сортировочных горок: анализ и статистика..... 304

РАЗДЕЛ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ. ГРУЗОВАЯ И КОММЕРЧЕСКАЯ РАБОТА.....	314
В. С. Блохин, М. К. Стадник	
К вопросу о правовом регулировании труда проводников пассажирских вагонов.....	314
Н. В. Быкова, Э. А. Никитина, М. В. Белозерова	
Организация перевозок наливных грузов в танк-контейнерах как одна из форм логистических принципов грузовой работы.....	321
Н. В. Быкова, А. А. Никитина	
Необходимость разработки методики анализа поэлементного простоя иностранных вагонов на пограничной станции.....	327
Н. В. Власова	
Развитие транспортно-логистической инфраструктуры ОАО «РЖД» западноевропейской части России.....	338
В. Л. Герус, Н. Ф. Сирина	
Методологические положения предиктивной аналитики в практике железнодорожного транспорта.....	348
А. В. Демьянович, Е. Д. Данилина, С. Д. Подолинная	
Проблемы и перспективы развития бондовых складов в России.....	355
Д. Д. Жарикова, Н. В. Эрлих	
Инновации в грузовых перевозках: как технологии меняют коммерческую работу.....	361
Д. В. Клабуков, Н. В. Эрлих	
Оптимизация приоритетов пропуска поездов на железной дороге для повышения эффективности использования «окон» и снижения простоев.....	367
М. И. Коновалова, С. В. Дружин, Е. В. Мартемьянова	
Изменение технологии работы железнодорожных станций в условиях дефицита трудовых ресурсов.....	371
М. И. Коновалова, Н. С. Михайлова	
Применение инновационных технологий в работе грузовой станции....	376
С. Д. Подолинная, И. А. Логинов	
Приграничная терминально-логистическая инфраструктура: анализ и перспективы развития.....	381
Е. Д. Псеровская, Д. А. Басманов	
Расчёт продолжительности формирования многогруппных составов в рамках маршрутизации на опорных станциях.....	390
М. П. Салазникова, Н. Е. Окулов, Н. В. Кащеева	
Анализ проблем транспортной системы и пути их решения.....	396

Е. Н. Светлакова

Совершенствование экипировки локомотивов
на Забайкальской железной дороге..... 400

Е. Н. Светлакова

Реконструкция станций – путь к повышению эффективности работы
дороги..... 408

И. Р. Терехова, В. М. Видясова, Т. Д. Серкова

Предложения по повышению уровня доступности
объектов транспорта для маломобильных групп населения
путём применения навигационных систем..... 416

С. С. Червоня

Перспективы развития вокзальных комплексов России
и повышение их доходности за счёт расширения спектра услуг
и улучшения качества обслуживания..... 426

РАЗДЕЛ 5. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

***ОХРАНА ТРУДА, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ..... 433***

Н. Д. Авсеенко, Т. А. Гороян

Эндемичный вирусный клещевой энцефалит
у работников Забайкальской железной дороги..... 433

Р. Г. Ахтямов

Влияние повышения влажности вследствие климатических
изменений на снижение диэлектрических свойств изоляции
кабельных сетей..... 437

Д. В. Бесполитов, Е. А. Агеев

Модифицированные дорожно-строительные композиционные матери-
алы на основе крупнотоннажных отходов производства..... 443

Н. В. Дубинин

Проблемы квалификации недобросовестной конкуренции..... 445

А. Д. Ерохин

Минимизация экологических рисков
от удалённых производственных объектов..... 455

А. Б. Ждан, С. А. Данилюк

Гололёдные явления на железной дороге
в условиях Приморского края: последствия и способы защиты..... 463

Д. М. Иванов

Разработка математической модели ранжирования регионов
по уровню экологической чувствительности
для определения уровня штрафов по экологическому ущербу..... 472

Н. С. Козлова, К. И. Гурьянов

Культура безопасности как неотъемлемая часть деятельности
организации..... 485

Н. В. Лугаськова, К. А. Прокопьева, В. С. Верлан Перспективы переработки металлургических шлаков.....	490
С. М. Микаилов, В. Е. Казенас Об электромагнитной безопасности урбанизированных территорий вблизи станций мобильных операторов и проблемах его нормативно-правового обеспечения.....	495
Н. А. Новобрицкая, Е. А. Руш Анализ причин возникновения и методов профилактики аварийных выбросов в химической промышленности.....	500
П. П. Панков, Д. В. Бесполитов, Н. Д. Шаванов, Н. А. Коновалова Дорожно-строительные композиционные материалы, модифицированные добавками высокомолекулярных соединений.....	509
П. П. Панков, Т. А. Гороян, С. А. Евсюков Изучение свойств золошлаковых отходов с целью утилизации в составах композитов строительного назначения.....	512
М. О. Позняк, Ю. О. Роцин, А. В. Харламова Геймификация как способ формирования культуры безопасности на производстве.....	515
Е. А. Руш, Т. С. Рыжкина, Д. С. Иванова Оценка воздействия объектов железнодорожного транспорта на состояние почвенного покрова в г. Слюдянка.....	520
А. С. Самойлова, Д. Р. Шанина Инженерные методы снижения вредных выбросов Ново-Иркутской теплоэлектростанции в атмосферу.....	531
Т. С. Титова, Р. Г. Ахтямов Разработка методологии оценки климатических рисков для объектов железнодорожной инфраструктуры на основе сценарного моделирования.....	543
В. С. Хомякова, К. А. Прокопьева, В. С. Верлан «ИСОБОР» – интеллектуальная система оценки безопасности огневых работ.....	550

РАЗДЕЛ 1. ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭЛЕКТРОВОЗЫ, ТЕПЛОВОЗЫ И ВАГОНЫ)

А. А. Будаев, Е. А. Третьяков

*Омский государственный университет путей сообщения,
г. Омск, Россия*

АНАЛИЗ ДАННЫХ С БОРТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Целью исследования является оценка данных, регистрируемых бортовой измерительной системой, для создания цифрового двойника электровоза. В работе проведена систематизация параметров, фиксируемых микропроцессорной системой управления и диагностики электровоза 2ЭС6, а также представлен перечень параметров, которые не измеряются штатной системой. Сформулированы возможные причины недостаточности данных и сделаны выводы о необходимости модернизации бортовых измерительных систем электроподвижного состава для разработки полноценного цифрового двойника электровоза.

Ключевые слова: электроподвижной состав, электровоз, бортовые измерительные системы, цифровой двойник.

Электроподвижной состав различных поколений оснащён бортовыми измерительными системами, которые представляют собой комплекс аппаратных и программных средств и предназначены для непрерывного или периодического сбора, регистрации, первичной обработки и передачи данных о параметрах работы локомотива, его оборудования и различных систем.

В качестве примера рассмотрена микропроцессорная система управления и диагностики (МПСУиД) магистрального грузового электровоза 2ЭС6, которая обеспечивает: автоматическое регулирование тяговых и тормозных режимов; защиту оборудования от перегрузок; непрерывный сбор эксплуатационных параметров; оперативную диагностику технического состояния [1-2].

Микропроцессорная система управления и диагностики электровозов отображает заданные и фактические значения токов в каждом тяговом электродвигателе, ток возбуждения, скорость локомотива, состояние каналов связи. Система фиксирует неполадки в цепях аккумулятор-

ных батарей, токоприемников, быстродействующего выключателя и другого электрического оборудования, и вспомогательных машин. Отклонения и аномалии от заданных режимов работы электрического оборудования регистрируются в памяти системы диагностики вместе с разнообразными вспомогательными данными, что упрощает поиск неисправностей и анализ их причин [3].

Для создания полноценного цифрового двойника электровоза требуются статические (паспортные характеристики), динамические (реальные параметры работы) и контекстные данные (условия эксплуатации).

Цель работы – систематизировать данные, регистрируемые МПСУ-иД, выявить недостатки в измерительной базе и определить требования к информации для разработки цифрового двойника электровоза.

Регистратор параметров движения фиксирует сигналы, которые можно разделить на три основные группы показателей применительно к отдельным частям электровоза, а именно: электрические, пневматические, механические и тяговые (см. Таблицу) [4].

Таблица

**Реальные сигналы
бортовой измерительной системы электровоза 2ЭС6**

Группа показателей	Величина	Обозначение
1	2	3
Электрические параметры	Ток якоря	$I_{\text{якоря}}$
	Ток обмоток возбуждения	$I_{\text{возб.}}$
	Ток вспомогательных машин	$I_{\text{псм}}$
	Ток генератора	$I_{\text{генер.}}$
	Ток батареи	$I_{\text{батареи}}$
	Ток мотор-вентилятора пуско-тормозных резисторов	$I_{\text{мв ПТР}}$
	Напряжение ТЭД	$U_{\text{тэд}}$
	Напряжение контактной сети	$U_{\text{к. сети}}$
	Напряжение цепей управления	$U_{\text{цу}}$
	Напряжение бортовой сети	$U_{\text{б. сети}}$
	Напряжение батареи	$U_{\text{батареи}}$
	Сопротивление изоляции цепей управления	$R_{\text{из. цу}}$
	Сопротивление изоляции ТЭД	$R_{\text{изол.}}$
	Уставка тока возбуждения ТЭД	$I_{\text{вз}}$
	Уставка для МВ	Устав. МВ

Окончание Таблицы

1	2	3
Пневматические параметры	Давление в главных резервуарах	$P_{гр}$
	Давление в тормозных цилиндрах	$P_{тц}$
	Давление в тормозной магистрали	$P_{тм}$
	Давление в цепях управления	$P_{цу}$
	Давление в уравнительном резервуаре	$P_{ур}$
	Давление масла в компрессоре	$P_{компр.}$
Механические и тяговые параметры	Масса локомотива	Q
	Масса состава	P
	Пройденный путь	S
	Сила тяги/торможения	F
	Сила тележки	$F_{тел.}$
	Сила секции	$F_{сек}$
	Заданная сила	F_{tz}
	Ускорение	A
	Заданная скорость	$V_{зад.}$
	Фактическая скорость движения	$V_{факт.}$
	Расчетная скорость движения	$V_{расч.}$
	Скорость от БЗС (блок защиты от скольжения)	$V - БЗС$
	Скорость от САУТ (система автоматического управления тормозами)	$V - САУТ$
	Скорость колесной пары	$V_{кп}$

Микропроцессорная система управления и диагностики электроваза 2ЭС6 фиксирует широкий спектр параметров, связанных с работой тяговых электродвигателей, тормозных систем, электрических цепей и других ключевых узлов. Однако есть данные, которые бортовая измерительная система не регистрирует или не обрабатывает, к примеру:

1) механические параметры – износ тормозных колодок, состояние подшипников, зубчатых передач; температура подшипников колесных пар, осей и ступиц;

2) состояние тормозной системы – толщина тормозных колодок, температура тормозных механизмов;

3) динамические нагрузки в конструкции – напряжения в раме кузова и тележек;

4) параметры подвески и демпфирования – ход гидравлических амортизаторов, жёсткость пружин в динамике, углы наклона кузова;

5) состояние аккумуляторных батарей (АКБ) – внутренне сопротивление АКБ, уровень электролита в каждой банке, температура отдельных элементов батареи;

6) электромагнитные помехи – уровни радиопомех от силовых цепей, наведенные напряжения на низковольтных линиях;

7) внешние погодные условия: интенсивность осадков, температура и влажность воздуха, состояние контактной сети (наличие льда или загрязнений).

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. МПСУиД эффективно выполняет свои прямые задачи по оперативному контролю и диагностике основных систем электровоза, регистрируя широкий спектр электрических, пневматических и механических параметров. Однако этот мониторинг носит базовый характер и ориентирован на обеспечение текущей эксплуатационной безопасности.

2. Для создания полноценного цифрового двойника огромную роль играет наличие данных, так как не все данные фиксируются бортовой измерительной системой, как следствие, невозможно достоверно спрогнозировать остаточный ресурс узлов и компонентов, смоделировать последствия неисправностей или аварийных ситуаций, а также оптимизировать обслуживание по фактическому состоянию.

3. Основной перечень недостающих датчиков: датчики износа тормозных колодок, вибродатчики (акселерометры), тензометрические датчики (тензорезисторы), датчики температуры, датчики сопротивления, датчики влажности, датчики положения, датчики уклона и поперечного ускорения (инклинометры), датчики электромагнитных помех. Кроме этого, стоит учесть, что перечень и количество указанных датчиков не должен быть избыточным.

4. Недостаток измерительной базы обусловлен объективными причинами: отсутствием специализированных датчиков, сопровождаемых увеличением капитальных и эксплуатационных затрат при их установке и обслуживании, а также риском перегрузки существующих сетей для передачи данных (CAN, MVB) высокочастотной или избыточной телеметрией.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка технических требований к дополнению номенклатуры датчиков, оценка экономической целесообразности такого расширения и создание методик интеграции и обработки разнородных данных (штатных и дополнительных) в единой модели цифрового двойника.

Только комплексный подход к сбору данных позволит реализовать весь потенциал технологии цифрового двойника для перехода к предскриптивной диагностики и существенного повышения эффективности эксплуатации электроподвижного состава.

Библиографический список

1. Худорожко, М. В. Бортовая система диагностирования электроваза 2ЭС6 / М. В. Худорожко, М. С. Хазов. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2011. – № 11(659). – С. 29. – EDN OKHGNP.
2. Осинцев, И. А. Микропроцессорная система управления и диагностики электроваза 2ЭС6 «Синара» / И. А. Осинцев. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2022. – № 5(785). – С. 12–16. – EDN DLXTJZ.
3. Электроваз грузовой постоянного тока 2ЭС6 с коллекторными тяговыми двигателями : руководство по эксплуатации. – Верхняя Пышма : Уральский завод железнодорожного машиностроения. – 2008. – Т. 1. – 166 с. – Текст : непосредственный.
4. Руководство по эксплуатации автоматизированного рабочего места регистратора параметров движения и автоведения грузового поезда (АРМ РПДА-Г). – Москва : ООО «АВП-Технология», 2008. – 28 с. – Текст : непосредственный.

В. П. Клюка, П. Б. Сергеев, С. А. Мосол

*Омский государственный университет путей сообщения,
г. Омск, Россия*

**СОВМЕСТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВУЗА
И ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ
ПО ВНЕДРЕНИЮ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС
ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ
СТУДЕНТОВ ВАГОННЫХ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ**

В работе рассматривается организация применения инновационных методов обучения студентов вагонных специализаций на кафедре «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС по технически сложным дисциплинам с использованием потенциала лабораторной базы вуза, учебного полигона действующей железнодорожной техники, базовых предприятий как в системе сетевого обучения, так и при организации учебной и производственной практики. Данные методы обучения позволяют будущим руководителям и специалистам эффективно освоить получаемую профессию, овладеть необходимыми знаниями, умениями и навыками для успешной дальнейшей работы на производстве.

Ключевые слова: интенсификация работы железных дорог России, инновационные методы обучения, современные технологии ремонта

и эксплуатации подвижного состава, стенды-тренажёры, электронные модели, автоматизированные рабочие места, информационные стенды, трудоустройство выпускников, результаты тестирования студентов компанией ОАО «РЖД», карьерный рост выпускников.

Концепция развития компании ОАО «РЖД» на период до 2035 г. [1] предполагает перевод действующих технологий технического обслуживания и ремонта подвижного состава на инновационные пути развития. Это определяет необходимость внедрения в практику перевозочного процесса на железнодорожном транспорте методов планирования, управления и контроля, основанных на применении инновационных, в т. ч. и цифровых, технологий на всех этапах производственного цикла. Такие требования, безусловно, должны отразиться на подходах к организации практической подготовки студентов железнодорожных специальностей. В настоящее время решение задачи повышения качества подготовки студентов к работе в условиях современных требований холдинга к молодым специалистам-вагонникам в ОмГУПСе осуществляется по нескольким направлениям: совершенствование лабораторной базы вуза и учебного полигона действующей железнодорожной техники, созданного при вузе в 2001 году, путем насыщения их рабочими объектами современного подвижного состава, приборами и оборудованием, применяемыми при реализации инновационных технологий ремонта и технического обслуживания грузовых и пассажирских вагонов; дальнейшее развитие сетевых форм обучения с включением в состав базовых предприятий помимо региональных также и удаленных производственных подразделений, проведение на их основе научных исследований по актуальным вопросам освоения на производстве современных технологий с совместным использованием потенциала производственников, преподавателей и студентов вуза; повышение эффективности организации производственной практики (работа практикантов на рабочих местах, повышение сроков производственной практики, расширение номенклатуры рабочих профессий, внедрение круглогодичной практики). В настоящей статье рассмотрены пути реализации указанных направлений совершенствования практической подготовки студентов-вагонников коллективом кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Омского государственного университета путей сообщения за период с 1998 г. по настоящее время.

Лабораторная база кафедры получила интенсивное развитие в период времени, начиная с 2000 года, благодаря организационным и материальным мерам, предпринятым МПС РФ по модернизации и развитию материальной базы транспортных вузов, а также материально-

технической помощи Западно-Сибирской железной дороги на основе ежегодно заключаемых соглашений между вузом и дорогой. За рассматриваемый период времени коренной модернизации было подвергнуто пять учебно-исследовательских лабораторий, вновь создано девять лабораторий и кабинетов (см. Таблицу), установлено на созданном при вузе учебном полигоне действующей железнодорожной техники два грузовых и один пассажирский вагон, а также разработано и создано силами кафедры и вагонных предприятий дороги одиннадцать уникальных стендов, позволяющих повысить доступность изучения конструкции грузовых и пассажирских вагонов, принцип действия их систем, проводить экспериментальные исследования на тормозном оборудовании вагонов.

Таблица

**Балансовая стоимость основных фондов в учебных аудиториях
кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС**

№ ауд.	Наименование аудитории	Площадь помещения, м ²	Примерная балансовая стоимость основных фондов, тыс. руб.
1	2	3	4
3	Экзаменационный центр ДУОСП ОмГУПС	54	1670,0
4	Лаборатория «Технология ремонта вагонов»	54	1320,0
5	Лаборатория «Конструирование и расчет вагонов»	48	1480,0
7	Дорожный центр неразрушающего контроля (лаборатория магнитного контроля)	48	1200,0
19	Лаборатория «Электрооборудование пассажирских вагонов»	92	1930,0
20	Лаборатория «Дорожный центр неразрушающего контроля»	144	2790,0
60	Лаборатория «Средства диагностирования подвижного состава»	144	2860,0
61	Лаборатория «Инновационные вагоны»	36	840,0
173	Лаборатория «Автотормоза вагонов»	36	1560,0
176	Лаборатория «Автотормоза»	54	2740,0
313	Лаборатория «Информационные технологии в вагонном хозяйстве»	54	1260,0
318	Лаборатория «Обеспечение сохранности перевозимых грузов, техническое обслуживание вагонов и безопасность движения»	54	1380,0

Окончание Таблицы

1	2	3	4
319	Аудитория «Кабинет дипломного проектирования»	54	180,0
320	Лекционная аудитория	144	250,0
	Итого:	1016	21460

Требования к применению действующих образцов железнодорожного оборудования в условиях полигонов железнодорожной техники в целях получения максимального эффекта в процессе обучения можно свести к двум: на стенде (образце) можно воспроизвести события, которые создают проблемные ситуации в эксплуатации железнодорожного объекта с целью обеспечения возможности их предупреждения с помощью мер технического, технологического или иного характера, возможность обеспечения на изучаемом объекте реальных производственных, климатических и прочих условий, а также изменения параметров этих условий в рабочем диапазоне. Здесь явно наблюдается научная составляющая, которая значительно расширяет возможности применяемого в учебно-исследовательских целях образца (стенда) железнодорожного оборудования.

Один из основных объектов, используемых на учебном полигоне при проведении практических занятий со студентами специализации «Пассажирские вагоны» на учебном полигоне это пассажирский вагон – тренажер (рис. 1), который был полностью реконструирован на базе купейного жесткого вагона постройки завода «Аммендорф» (ГДР).

Использование вагонных объектов на учебном полигоне действующего оборудования ОмГУПС в учебном процессе и в научных исследованиях кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» позволяет значительно повысить уровень практических знаний студентов вагонных специализаций по соответствующим дисциплинам, закрепить теоретический материал, а также проводить научные исследования в области эксплуатации тормозов подвижного состава и других элементов подвижного состава с учетом максимального приближения к реальным условиям их эксплуатации.

После выхода распоряжений компании ОАО «РЖД» об образовании на предприятиях железнодорожного транспорта базовых кафедр последние были созданы при всех транспортных вузах. Трехлетний опыт, полученный кафедрой в пассажирском вагонном депо Омск-пассажирский, а также прошедшие изменения в организационной структуре компании: выделение пассажирского комплекса из вагонного хозяйства и разделения последнего на эксплуатационные и ремонтные

предприятия привели к решению разместить базовую кафедру в структурных подразделениях эксплуатационного вагонного депо Входная. Для проведения учебной и производственной практики стали использоваться ПТО Входная, Московка, Комбинатская.



Рис. 1. Учебный класс в пассажирском вагоне-тренажёре

По прошествии трех лет было предложено создать еще одну удаленную базовую кафедру в эксплуатационном вагонном депо Новокузнецк – Северный, учитывая то, что основная задача вагонников на Кузбассе – обеспечить фронты погрузки Кузбасского региона работоспособными порожними вагонами и доставку груза в пункты выгрузки с увеличением гарантийных участков до 6000 км. Поэтому выбор последнего в качестве базового предприятия обоснован. За последние три года на базовом предприятии Новокузнецк – Северный выполнено шесть выпускных квалификационных работ по грантам холдинга и Западно-Сибирской железной дороги. Дополнительно, для студентов, проходящих практику на предприятиях Кузбасса трижды за период практики проводятся лекции работниками предприятий Кузбасского территориального управления, вагонной службы в режиме удаленного доступа, что позволяет повысить эффективность приобретения практикантами необходимых рабочих навыков и компетенций.

Кроме использования базовых предприятий для улучшения практической подготовки студентов и закрепления теоретического материала в последние семь лет практикуется совместно с Омским территориальным управлением организация поездок студентов как старших, так и младших курсов на передовые предприятия Омского железнодорожного узла. Для этого выделяется служебный электровоз (мотриса) НЗТЕР-1 с 35 местами для сидений. Маршруты следования: ПТО Входная с терминалом, ПТО Московка с крытым участком ТОР, промывочно-

пропарочная станция Комбинатская с посещением автоматизированной горочной системы.

Результаты применения комплексного подхода при усилении практической подготовки студентов вагонных специализаций анализировались путем рассмотрения за период с начала его внедрения до настоящего времени трех показателей: динамика изменения результатов аттестации студентов старших курсов, проводимой ОАО «РЖД» за анализируемый период, динамика изменения результатов трудоустройства выпускников за анализируемый период, карьерный рост выпускников на предприятиях вагонного хозяйства по истечении пяти лет работы на производстве.

Аттестация студентов старших курсов проводится компанией ОАО «РЖД» ежегодно для оценки остаточных знаний студентов транспортных вузов, а также уровня их практической подготовки (знание «Правил технической эксплуатации», «Инструкции по техническому обслуживанию вагонов», «Правил деповского ремонта вагонов» и др.) и соответствия его требованиям холдинга. На рис. 2 представлена динамика изменения результатов тестирования студентов за период с 2007 г. по настоящее время. Результаты представлены в виде процентов аттестуемых на оценки «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично».

Анализ показал, что в первые четыре года анализируемого периода усредненный балл по хорошим и отличным оценкам по итогам аттестации составил 60,6 %. В последние четыре года – 90,1 %. Оценки «неудовлетворительно» и «удовлетворительно» составили 27 % и 8,75 % соответственно.

Для оценки качества трудоустройства выпускников использованы результаты работы комиссии по содействию трудоустройству в период с 2005 г. по настоящее время. Оценивались при анализе три результата – «отказ от трудоустройства», «трудоустройство на нежелезнодорожные предприятия», «трудоустройство на предприятия вагонного хозяйства». Результаты следующие: за последние пять доля устроившихся на предприятия вагонного хозяйства составила от 83 до 95 %.

Одним из основных показателей качества подготовки выпускников и их адаптации на производстве является карьерный рост за первые пять лет трудовой деятельности. Анализ проведен за период с 2001 г. по 2025 г. с периодичностью пять лет. Карьерный рост изучался путем анализа назначения выпускников на должности по прошествии пяти лет после поступления на работу (для мужчин с учетом службы в армии). Были обследованы 22 предприятия вагонного хозяйства в пределах Западно-Сибирской железной дороги – шесть эксплуатационных вагонных

депо, шесть пассажирских вагонных депо и участков, десять ремонтных вагонных депо. «Ступени» роста распределены по трем категориям: «средний состав» – мастер ПТО, мастер участка, технолог, инженер отдела; «старший состав» – начальник ПТО, старший мастер участка, старший инженер, начальник отдела, главный механик, главный энергетик; «руководящий состав» – начальник депо, заместитель начальника депо (пассажирского вагонного участка), главный инженер, заместитель начальника по эксплуатации (пассажирским перевозкам), заместитель начальника по ремонту, заместитель начальника по безопасности движения (при наличии в штатном расписании), заместитель начальника по кадрам и социальным вопросам (рис. 2).



Рис. 2. Динамика карьерного роста выпускников-вагонников ОмГУПС

Необходимо учесть, что весомую добавку кадрового обновления на предприятиях вагонного хозяйства дороги дают выпускники вуза, прошедшие обучение по заочной форме. Они составляют до 40 % кадрового усиления старшего и руководящего состава. Таким образом, вуз обеспечивает кадровые потребности предприятий вагонного хозяйства крупнейшей погрузочной дороги сети дорог Российской Федерации. Кроме того, выпускники ОмГУПС занимают ответственные посты в системе железнодорожного транспорта. В числе их – руководители Департаментов вагонного хозяйства и технической политики, члены советов директоров вагоностроительных заводов, главные инженеры железных дорог, начальники отделений дорог (территориальных управлений), начальники дирекций и служб, работники аппарата управления региональных центров корпоративного управления.

Заключение

Кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС готовит специалистов вагонного хозяйства для предприятий Западно-Сибирской железной дороги и предприятий, расположенных на стыковых станциях с Южно-Уральской, Свердловской и Красноярской дорог (всего более 25 депо и участков). Концепция непрерывной подготовки специалистов, разработанная на Западно-Сибирской железной дороге в восьмидесятих годах прошлого века, предполагала формирование студенческого корпуса ОмИИТа (железнодорожные специальности) начиная с довузовской подготовки в железнодорожных средних школах и учебных классах детских железных дорог (в Новосибирске и в Кемерово), средних учебных заведениях профессиональной подготовки, формирования целевого приема на специальности вуза и техникумов, сопровождение студентов в процессе обучения (присуждение именных стипендий успевающим студентам, создание авторских классов, обучение в группах резерва начальника железной дороги). Позже проявление заинтересованности дороги в повышении качества учебного процесса в вузе выразилось в организации сетевого обучения с использованием базовых предприятий, выделении грантов на выполнение выпускных квалификационных работ. В представляемой работе мы попытались показать, как сложившийся уровень партнерства вуза и дороги позволяет внедрять новые образовательные технологии и как это влияет на качество подготовки специалистов-вагонников для одной из самых напряженных и ответственных дорог компании ОАО «РЖД».

В планах кафедры дальнейшее совершенствование партнерских отношений с Западно-Сибирской железной дорогой, развитие лабораторий и объектов учебного полигона, включение в тематику выпускных квалификационных работ разработку цифровых двойников предприятий вагонного хозяйства, повышение производительности труда при техническом обслуживании вагонов на ПТО, продолжать подготовку выпускников к эффективной и успешной деятельности на производстве.

Библиографический список

1. Совет Федерации Федерального собрания Российской Федерации. Постановление от 12 апреля 2023 г. № 156-сф «О перспективах развития железнодорожного транспорта» // Консультант Плюс : официальный сайт. – Москва. – URL : <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&bas-e=EXP&n=821682&ysclid=m93s4uf18v139783133#5eR8ThUyAGauGQuL1> (дата обращения : 19.02.2018). – Текст : электронный.

2. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава [утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от 6-7 мая 2014 г. № 60) (с изменениями и дополнениями)]. – Текст : непосредственный.

3. Особенности эксплуатации тормозов и исследование свойств композиционных тормозных колодок грузовых вагонов / В. П. Клюка, Д. В. Муравьев, С. А. Мосол. – Текст : непосредственный // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2021. – № 1(65). – С. 34–38.

4. Клюка, В. П. Стенд для изучения крана дистанционного управления тормозами № 130 / В. П. Клюка, С. А. Мосол. – Текст : непосредственный // Локомотив : журнал. – Москва, 2019. – № 7(751). – С. 43-44.

5. Кирпиченко, Е. М. Использование в учебном процессе электрифицированных стендов – наглядных пособий как средства передачи информации / Е. М. Кирпиченко, В. П. Клюка, С. А. Мосол. – Текст : непосредственный // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : материалы научной конференции, посвященной Дню Российской науки. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения. – 2020. – С. 376–386.

6. Клюка, В. П. Наглядное пособие-разрез для изучения устройства и работы воздухораспределителя № 242 / В. П. Клюка, С. А. Мосол. – Текст : непосредственный // Локомотив : журнал. – Москва, 2019. – № 10(754). – С. 30-31.

П. В. Кубасова

*Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

НАЗНАЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЛОКОМОТИВОВ ЧМЭЗв/и В УСЛОВИЯХ СЕРВИСНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО ШАРЬЯ

В статье описывается освоение комплекса работ по назначению срока службы (НСС) тепловозов ЧМЭЗв/и в условиях сервисного локомотивного депо Шарья. Основанием для выполнения комплекса ремонтных работ с установлением срока службы тепловозов серии ЧМЭЗ в/и явилось Поручение заместителя генерального директора ОАО «РЖД» О. С. Валинского № П-ОВ-142 от 27.12.2019 г. по результатам технического отчёта № И-19-19.

Ключевые слова: новый назначенный срок службы, определение остаточного ресурса, прочность несущих конструкций.

В настоящее время основным тепловозом, обеспечивающим маневровую работу на Северной, Октябрьской, Московской, Приволжской и других железных дорогах остаётся тепловоз серии ЧМЭЗв/и (годы выпуска с 1963 по 1994). Тепловозы данной серии за десятилетия работы зарекомендовали себя, как надёжные и неприхотливые в эксплуатации локомотивы, паспортный срок службы которых составляет 32 года.

Замены самым массовым маневровым локомотивам, эксплуатирующимся на железных дорогах России на сегодняшний день нет. Производство альтернативных тепловозов серии ТЭМ18 Брянского машиностроительного завода, только набирает обороты. Производственных мощностей для выпуска необходимого количества новых ТЭМ18 для замены ЧМЭЗ недостаточно. В данных условиях вопрос продления (назначения) срока службы очевиден и актуален.

Базовыми частями, лимитирующими срок службы тепловоза ЧМЭЗв/и, являются рама тепловоза (главная рама) и рама тележки.

При эксплуатации тепловоза главная рама испытывает значительные продольные повторно-статические и ударные нагрузки с относительно малым числом циклов нагружения. Под действием этих нагрузок в ряде элементов конструкции главной рамы могут возникать напряжения, близкие к пределу текучести материала с возможным образованием в них остаточных деформаций [1].

Рамы тележек работают главным образом в условиях переменных циклических нагрузок. Многоцикловое их воздействие способствует снижению сопротивления усталости конструкции рамы (из-за накопления повреждений и деградации свойств материала) [1].

В результате обследований технического состояния элементов несущих конструкций и ответственных деталей экипажной части тепловозов ЧМЭЗв/и при длительной эксплуатации на Оренбургском и Мичуринском ЛРЗ выявлялись следующие неисправности, представленные на рисунке 1: изгибы (деформации главной рамы) в местах между стяжными ящиками и шкворневыми балками (рис. 1, а), трещины в галтели шкворня длиной 10–15 мм (рис. 1, б), отливы для крепления балансиров (рис. 1, в), трещины в вертикальных листах поперечных балок рамы тележки в местах примыкания к фартукам продольных балок (рис. 1, г, поз. 1, 3), в околошовных зонах приварки кронштейнов опор ТЭД (рис. 1, г, поз. 2) [1].

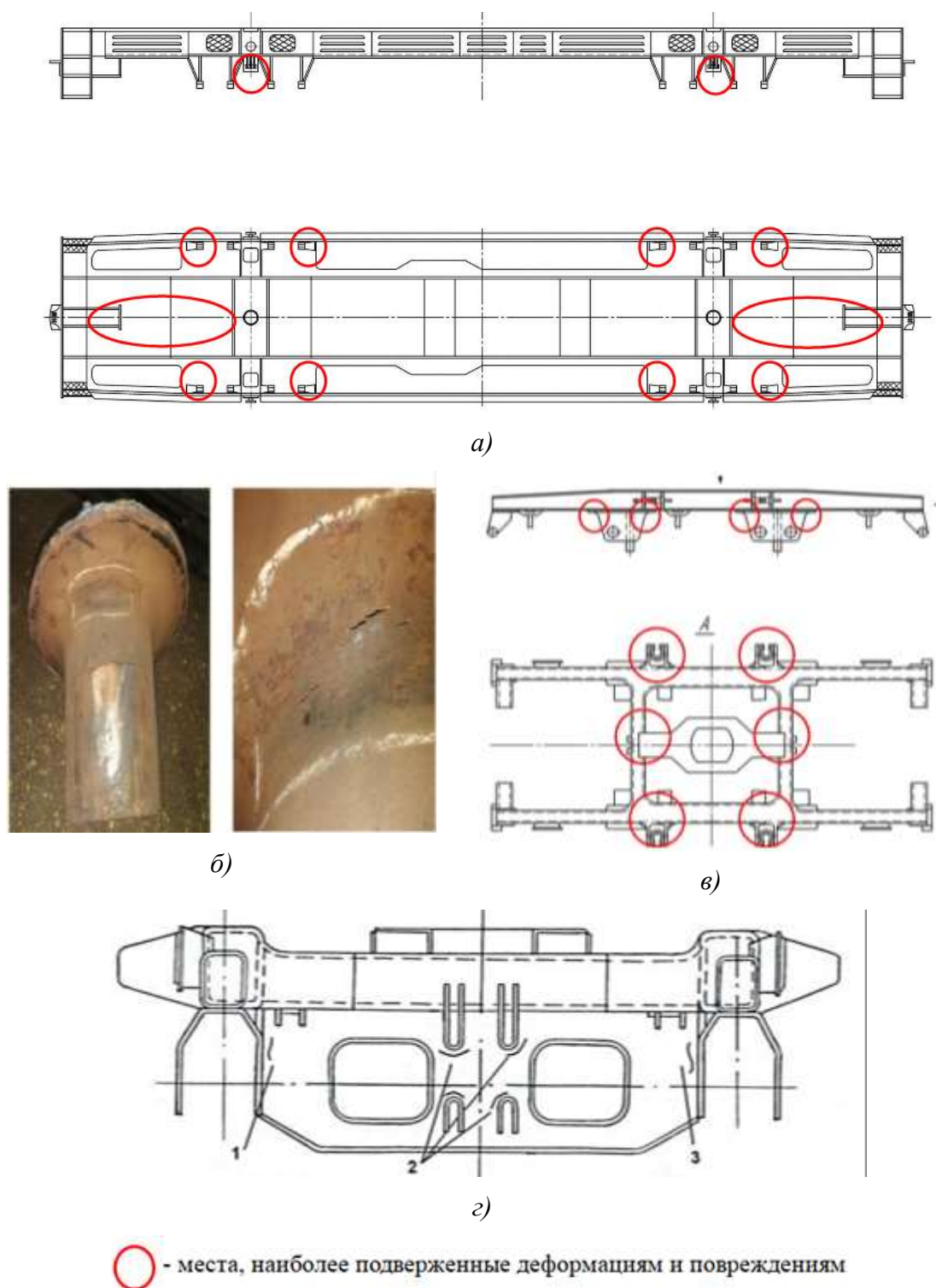


Рис. 1. Основные места неисправностей элементов несущих конструкций

Объем комплекса работ по назначению срока службы тепловоза установлен на основании разработанного АО «ВНИКТИ» документа «Определение остаточного ресурса рамы тележки и кузова (главной

рамы) тепловоза ЧМЭЗв/и», оформленного в виде Технического отчёта № И-19-19 «Расчётно-экспериментальная оценка ресурса с рекомендациями по установлению нового назначенного срока службы» [1].

В соответствии с вышеуказанным отчётом определены условия для продления срока безопасной эксплуатации тепловоза ЧМЭЗв/и, при этом: в сервисном локомотивном депо Шарья при проведении очередного деповского ремонта в объёме ТР-3 или заводских видов ремонта:

1. На главной раме тепловоза ЧМЭЗв/и проводят следующие работы:
 - упрочнение накатыванием роликом радиусного перехода R20 переднего и заднего шкворня (рис. 2). Рекомендуемый режим накатывания:
 - сила прижатия ролика 30–32 кН;
 - число проходов (оборотов) – не менее 10 [1].

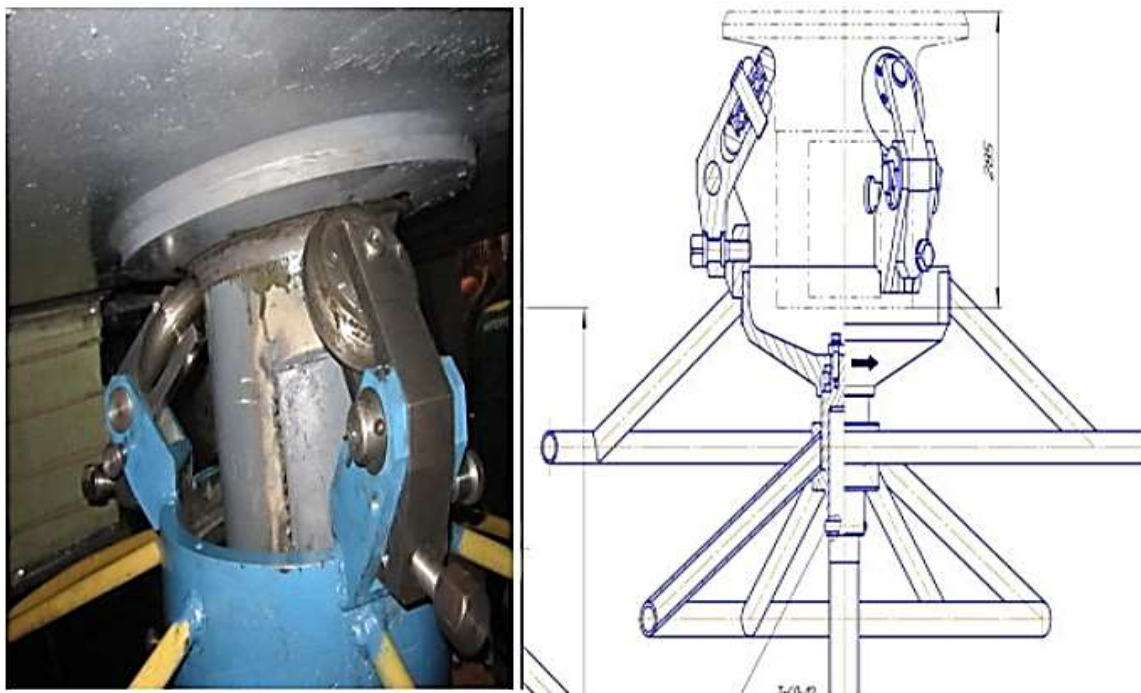


Рис. 2. Упрочнение накатыванием роликом радиусного перехода R20

2. На раме тележки тепловоза ЧМЭЗв/и проводятся:
 - работы по усилению сварных швов в соответствии с техническим описанием Т1667.00.00 (рис. 3) [3; 5];
 - повышение сопротивления усталости сварных соединений в соответствии с ГОСТ 33976-2016 (приложение Г (пп. Г1-Г3)) с упрочнением сварных швов наклёпом по технологической инструкции 15.ТИ.001.08 (рис. 3) [8].



Рис. 3. Усиление сварных швов рамы тележки

3. Производится замена поглощающего аппарата класса Т0 на поглощающий аппарат класса Т3. Монтаж ударно-тяговых приборов выполняется согласно ГОСТ 3475-81 и фирменного чертежа автосцепки 1-02-8260-022. Для подгонки нового поглощающего аппарата проводятся работы по переделке ударной розетки методом среза в соответствии с чертежом Т2030.101.01 (рис. 4) [6-7].

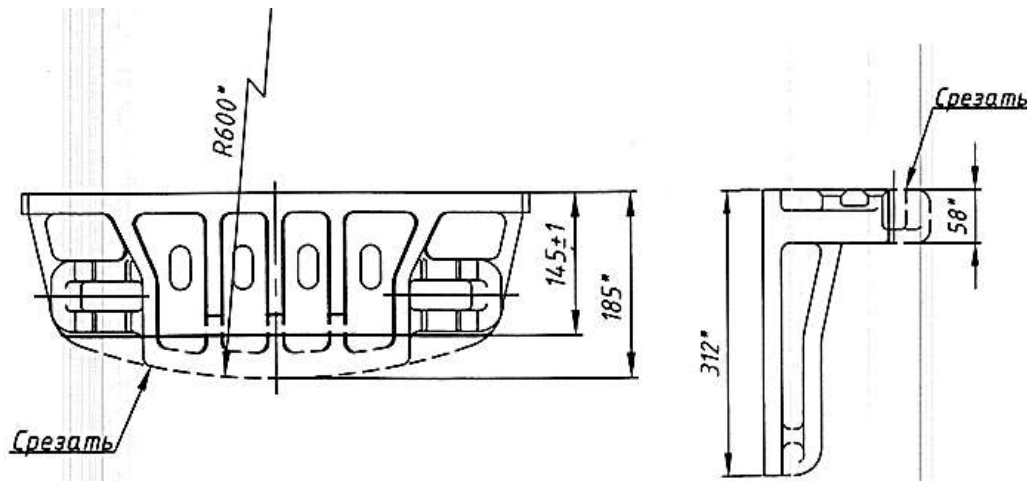


Рис. 4. Схема переделки ударной розетки (Т2030.101.01)

Срок безопасной эксплуатации тепловозов ЧМЭЗв/и после проведения работ по НСС, согласно Техническому отчёту № И-19-19, увеличивается до 55 лет (по ресурсу главной рамы и рам тележек).

Вышеуказанные работы по назначению срока службы тепловоза ЧМЭЗв/и в сервисном локомотивном депо ОП «Шарья» ООО «Милорем-Сервис» (согласно телеграмме ОАО «РЖД» № исх-8931 от 22.04.2020) выполняются с 1 мая 2020 года.

Библиографический список

1. Технический отчёт АО «ВНИКТИ» № И-19-19 от 25.10.2019 УДК 629.424.1(047.1). – Текст : непосредственный.
2. Поручение генерального директора ОАО «РЖД» начальника Дирекции тяги О. С. Валинского № П-ОВ-142 от 27.12.2019 «Об организационных мерах для выполнения комплекса ремонтных работ с установлением срока службы». – Текст : непосредственный.
3. Техническое описание Т1667.00.00 ТО № 184468 от 20.03.1996 «Усиление рамы тележки ЧМЭЗ». – Текст : непосредственный.
4. Телеграмма ОАО «РЖД» № исх-8931 от 22.04.2020. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 33976-2016 Межгосударственный стандарт. Соединения сварные в стальных конструкциях железнодорожного подвижного состава. – Текст : непосредственный.
6. Чертёж ПКБ ЦТ ОАО «РЖД» Т2030.101.01 № 232 от 15.10.2015. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ 3475-81 Государственный стандарт СССР. Устройство автосцепное подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. – Текст : непосредственный.
8. Технологическая инструкция. Упрочнение наклёпом сварных соединений конструкций локомотивов 15.ТИ.001.08. – Текст : непосредственный.

О. А. Малышева, Н. И. Хиль

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск, Россия*

**АНАЛИЗ ПРЕДЛОЖЕНИЙ
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
В РЕЖИМЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ**

В работе рассматриваются имеющиеся в научной среде предложения по решению поставленной задачи, среди которых как внедрение систем накопления и совершенствование преобразовательных систем на борту электровоза, так и использование систем управления энергией вместе с интеллектуальными системами мониторинга и управления.

Анализ показал, что внедрение накопителей энергии позволяет выравнивать график нагрузки, стабилизировать напряжение в контакт-

ной сети и повысить энергоэффективность электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения. Усовершенствование схем и использование новых технологических решений в силовой электронике позволяет существенно повысить эффективность преобразовательного оборудования. Оптимизация систем управления энергии позволяет балансировать расход и возврат энергии, а внедрение интеллектуальных систем мониторинга – планировать изменения характеристик контактной сети и улучшить организацию тяги поездов.

Ключевые слова: электроподвижной состав, рекуперативное торможение, возврат электроэнергии, энергетическая эффективность, железнодорожный транспорт.

Введение. Энергоэффективность железнодорожного транспорта имеет важную роль в обеспечении его устойчивого развития. Современные программы федеральных и отраслевых стратегических документов, направленные на экономию ресурсов, требуют внедрения технологий, позволяющих сократить эксплуатационные затраты. Одной из таких технологий является рекуперативное торможение, позволяющее возвращать генерируемую в процессе торможения энергию обратно в контактную сеть. Однако этот способ повышения энергетической эффективности имеет свои недостатки и для полного использования потенциала рекуперативного торможения необходимо произвести комплексную модернизацию имеющихся технических решений. В научных статьях, посвященных данной теме, можно выделить следующие ключевые направления повышения энергетической эффективности:

- Оптимизация систем управления энергией.
- Совершенствование преобразовательных систем.
- Интеграция систем накопления энергии (СНЭ).
- Внедрение интеллектуальных систем мониторинга и управления.

Оптимизация систем управления энергией

Современные электровозы эволюционируют в сложные киберфизические системы, где интеллектуальные технологии управления играют центральную роль. В этой области всё чаще используются адаптивные алгоритмы, учитывающие особенности рельефа пути, состояние контактной сети и изменяющуюся нагрузку на электровоз, что позволяет системе оптимизировать режимы работы тяговых двигателей, балансируя расход и возврат энергии. Исследование, приведённое в статье Сафина А.Р. и Вафина Ш.И. [1], посвящено разработке энергетически оптимальных подходов к адаптивному управлению тяговыми приводами с учётом реальных условий эксплуатации. Так, на основании уравнения

расхода энергии тяговыми двигателями делается вывод о возможности оптимального управления тяговыми двигателями и увеличения их КПД при помощи воздействия на два типа аргументов: с известными законами их изменения – например, удельное сопротивление движению, зависящее от массы, скорости и рельефа пути; и адаптивно управляемые – например, электромагнитный момент двигателя, который система способна менять благодаря регулировке тока возбуждения и напряжения на двигателе. Суть адаптации в воздействии на работу тяговых двигателей за счёт имеющейся информации. Достоверность получаемой информации обеспечивается интеграцией датчиков с системой спутниковой навигации, что обеспечивает резервирование системы при потере сигнала при езде в тоннеле, повышает точность геолокации и повышает достоверность данных за счёт перекрёстного контроля работы датчиков и системы спутниковой навигации.

Помимо алгоритмов управления, важную роль в повышении энергоэффективности играет прогнозирование потребления электроэнергии. Это особенно важно, т. к. эффективность рекуперации напрямую зависит от нагрузки сети, а прогнозирование электропотребления способствует более разумному использованию электроэнергии и уменьшению активных потерь. В трудах Томина Н.В., Корнилова В.Н. и Курбацкого В.Г. [2] предлагают повысить эффективность прогнозирования потребления энергии при помощи моделей машинного обучения, которые позволят автоматизировать задачу коррекции моделей и повысить точность прогноза. В первую очередь, это относится к тяговым нагрузкам, регулируемым в «ручном режиме». Основное отличие алгоритмов машинного обучения от классических алгоритмических подходов является способность обучаться без вмешательства человека на основе приобретенного опыта, что помогает автоматизации процесса прогнозирования и увеличению точности предсказаний.

Совершенствование преобразовательных систем

Выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП) – неотъемлемая часть электроподвижного состава переменного тока, используемого на отечественных железных дорогах. Несмотря на отсутствие потерь в пусковых сопротивлениях при пуске и регулировки скорости, есть недостатки, такие как высокий расход реактивной мощности и искажение формы тока, потребляемого из контактной сети.

В статье под авторством Евстафьева А.М. и Сычугова А.Н. [6] предлагают использование гибридного фильтра, размещаемого на борту электровоза, что позволит уменьшить потребление реактивной энергии из системы внешнего электроснабжения и снизить потери в контактной

сети. Гибридный фильтр сочетает в себе активный фильтр и пассивный фильтр, построенный на LC-цепях. Активный фильтр, несмотря на свою высокую цену, обеспечивает наличие в токе контактной сети только активной составляющей нагрузки, компенсируя сумму токов высших гармоник и реактивного тока нагрузки. Пассивный фильтр на базе LC-элементов улучшает $\cos\varphi$ и частично компенсирует одну из высших гармоник входного тока. В совокупности, система позволяет снизить мощность используемого преобразователя на 10 % от потребляемой реактивной мощности [6].

Коэффициент мощности в электровозах с тиристорными ВИП в режиме рекуперативного торможения не превышает 65 %, что не соответствует современным требованиям энергоэффективности. В работе Мельниченко О.В. и соавторов [3] предлагается переход на IGBT-модули, что обеспечит снижение энергозатрат за счёт нового алгоритма управления и упрощение схемы управления затвором благодаря высокому быстродействию при малых управляющих токах.

Наиболее перспективной технологией называют Press-Pack IGBT-модули. Модули обладают конструкцией, исключаяющей необходимость пайки и сварки, благодаря чему они имеют «двухстороннюю» систему охлаждения, повышающая устойчивость к термоциклированию, и более равномерное распределение механических напряжений при тепловых расширениях, что позволяет использовать устройство при температурах от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предсказуемый переход в короткое замыкание является главным преимуществом, облегчающим схему контроля и предотвращающим развитие аварийной ситуации [3].

В статье приводится схема предлагаемого ВИП, отличной от штатной добавлением дополнительного плеча, включённого параллельно цепи выпрямленного тока, что служит для уменьшения коммутационных перенапряжений при включении и отключении IGBT модулей. Дополнительное плечо используется, когда остальные плечи неактивны. Работа схемы предусматривает переключение транзисторов с частотой, соответствующей частоте контактной сети, благодаря чему она практически не будет отличаться от классических тиристорных ВИП в вопросах электромагнитной совместимости с аппаратурой СЦБ и связи.

Наличие блоков балластных резисторов (ББР) является особенностью силовой схемы электровоза, необходимой для рекуперативного торможения, поскольку ввод дополнительного активного сопротивления в цепь якоря тягового электродвигателя позволяет обеспечивать статическую устойчивость режима. Так, в публикации [7] предлагают схему силовой цепи электровоза, исключаящую блок балластных резисторов.

Конструкция выполнена на IGBT-модулях и предусматривает регулировку напряжения на каждом тяговом двигателе, что даёт лучшее выравнивание токов электродвигателей. Идея увеличения коэффициента мощности состоит в способности влиять с помощью значения тока генератора на наклон внешней характеристики инвертора при регулировании угла рабочей зоны разрядного диодно-транзисторного плеча по переднему фронту. Реализация рекуперативного торможения данным способом помогает увеличить диапазон тормозных характеристик электроподвижного состава переменного тока и увеличить значение возвращаемой в тяговую сеть электроэнергии примерно на 12 %, что позволяет лучшим образом задействовать мощность генератора.

В работе Шрамко С.Г., одним из путей повышения энергоэффективности называют уменьшение величины активного сопротивления блока балластных резисторов (ББР) [8]. С появлением IGBT-модулей, способных управлять в ключевом режиме токами значительной величины, появилась возможность, шунтируя часть балластного резистора в определенной области времени полупериода, одновременно уменьшать сопротивление ББР и улучшать фазовые характеристики тока первичной цепи. Суть способа в изменении формы тока первичной обмотки и увеличении коэффициента мощности за счёт регулировки сопротивления ББР в определенный момент времени относительно перехода напряжения контактной сети через нуль.

Анализ электромагнитных процессов в среде программирования Simulink показывает, что шунтирование ББР приводит к снижению пульсации тока якоря на 30 %, снижению генерации реактивной мощности на 18 % и общему повышению энергоэффективности рекуперативного торможения (на 5 % повышается генерация активной мощности в тяговую сеть).

В статье [11] говорится про тенденцию замены классических кремниевых транзисторных модулей на карбид-кремниевые аналоги (SiC). Они имеют более высокие показатели энергоэффективности благодаря большей скорости переключения при меньших габаритах. Исследования, проведенные с использованием классического профиля нагрузки пассажирского электропоезда, демонстрируют уменьшение потерь при данном нововведении более, чем наполовину, при сохранении остальных характеристик. Примером практического применения SiC-модулей являются вагоны токийского метро в Японии, где их использование привело к уменьшению размеров и массы на 20 и 15 % соответственно и снижению потерь в преобразователях собственных нужд почти на треть.

Интеграция систем накопления энергии

В настоящее время в системах тягового электроснабжения рекуперативное торможение способствует возврату кинетической энергии обратно в сеть, но её более эффективное использование возможно при наличии устройств, способных накапливать эту энергию. Так, в статье [4] в качестве наиболее эффективных накопителей энергии для систем переменного тока приводятся емкостные, инерционные и индуктивные накопители энергии.

Предлагаемые в [4] места размещения накопителей энергии: обмотка низшего напряжения 6–10 кВ через разделительный трансформатор, шины контактной сети через трансформатор, между тяговой подстанцией и контактным рельсом и наиболее интересный для нас вариант размещения на борту электроподвижного состава. В результате моделирования в [4], авторы пришли к выводу, что использование накопителей энергии позволяет выравнивать графики нагрузки тяговых подстанций и стабилизировать напряжение на токоприёмнике.

Примером внедрения накопителей энергии в электровозах является патент на полезную модель [5], предназначенную для использования на электроподвижном составе с асинхронным тяговым электродвигателем. В установке используется гибридное устройство накопления энергии, объединяющее электрохимические и емкостные модули, подключенные через два преобразователя и управляемые вентили IGBT к звену постоянного тока. Эта полезная модель ставит целью обеспечить накопление электрической нагрузки, повысить надёжность электроснабжения и эффективность эксплуатации электроподвижного состава. Отмечается, что наиболее перспективными являются накопители, комбинирующие особенности электрохимических и ёмкостных накопителей энергии в гибридных системах. Это позволит выровнять график электрической нагрузки и повысить энергоэффективность электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения.

Внедрение интеллектуальных систем мониторинга

Электровоз – сложная машина, имеющая множество конструктивных элементов, от неисправности которых может быть не только проблемы с транспортировкой грузов и пассажиров, но и экономические потери. Тем более, когда преобразовательных системы развиваются и становятся структурно сложнее, требования к анализу состояния компонентов существенно увеличиваются.

В статье [9] за авторством Вильгельма А.С. предлагается создание ИС МПЭТ – интеллектуальной системы (далее – ИС) мониторинга и планирования показателей энергоэффективности тяги поездов. Пе-

ред системой ставится задача определения оптимального сочетания факторов для планирования изменений характеристик контактной сети и улучшения организации тяги поездов. Чтобы внедрить данную технологию, требуется решение задач повышенной сложности, для которых необходимы методы искусственного интеллекта. Система должна представлять собой не просто аналитический или статистический инструмент, а полноценную интеллектуальную среду. В отличие от обычных аналитических решений, интеллектуальные системы способны работать с динамически изменяющимися данными, корректировать алгоритмы обработки в процессе обновления информации и развивать собственные навыки за счёт самообучения. Для реализации проекта потребуется множество наукоёмких работ, но это позволит создать ядро сложной интеллектуальной системы, повышающей энергоэффективность тягового состава и экономическую эффективность ОАО «РЖД».

Специалисты ОмГУПС в [10] раскрывают детали разрабатываемой АСМЭПП – автоматизированной системы мониторинга энергетической эффективности перевозочного процесса. К функциям подсистемы относят автоматическое измерение и запись показаний с привязкой к времени и координатам, автоматическую идентификацию машиниста с привязкой табельного номера к результатам измерений, автоматическую передачу на сервер. Итогом работы является формирование базы данных с параметрами, включающими в себя серию и номер электровоза, географическую ширину и долготу, расход электроэнергии из контактной сети, возврат (рекуперация) электроэнергии, расход электроэнергии на питание пассажирских вагонов вместе с табельным номером машиниста и кодом состояния локомотива [10].

Выводы

Анализ научных работ и технических решений показал, что необходим комплексный подход в вопросе повышения энергетической эффективности электроподвижного состава в режиме рекуперативного торможения. Применение накопителей позволяет сглаживать нагрузку и стабилизировать напряжение в контактной сети, а развитие силовой электроники обеспечивает повышение эффективности преобразовательного оборудования. Оптимизация системы управления потоками электрической энергии и внедрение интеллектуальных технологий создают условия для более полного использования потенциала рекуперативного торможения.

Таким образом, рекуперативное торможение как способ повышения энергоэффективности требует комплексного подхода и учёта особенностей инфраструктуры. Комплексная модернизация электроподвижного

состава и его системы электроснабжения позволит существенно снизить энергозатраты, повысить надежность работы оборудования, увеличить срок его службы и обеспечить устойчивое развитие железнодорожного транспорта в современных условиях.

Библиографический список

1. Сафин, А. Р. Энергооптимальное адаптивное управление тяговыми двигателями электроподвижного состава / А. Р. Сафин, Ш. И. Вафин. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/energooptimalnoe-adaptivnoe-upravlenie-tyagovymi-dvigatelyami-elektropodvizhnogo-sostava> (дата обращения: 16.09.2025). – Текст : электронный.

2. Томин, Н. В. Повышение эффективности почасового прогнозирования электропотребления с помощью моделей машинного обучения на примере Иркутской энергосистемы. Часть 1 / Н. В. Томин, В. Н. Корнилов, В. Г. Курбацкий. – Текст : электронный // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 1. – URL : <https://eepir.ru/article/povyshenie-effektivnosti-pochasovogo-prognozirovaniya-elektropotrebleniya-s-pomoshhju-modelej-mashinnogo-obucheniya-na-primere-irkutskoj-energositemy-chast-1/> (дата обращения: 16.09.2025).

3. Полянский, И. В. Выпрямительно-инверторный преобразователь для тягового подвижного состава с высоким коэффициентом мощности в режиме рекуперативного торможения / И. В. Полянский, О. В. Мельниченко, А. В. Линьков, Ю. А. Газизов. – Текст : электронный // Силовая электроника. – 2016. – № 5. – С. 94–96. – URL : <https://power-e.ru/electrodrives/podvizhny-sostav/> (дата обращения: 16.09.2025).

4. Закарюкин, В. П. Применение накопителей энергии в системах тягового электроснабжения железных дорог переменного тока / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, А. В. Черепанов. – Текст : электронный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 2 (42). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-nakopiteley-energii-v-sistemah-tyagovogo-elektrosnabzheniya-zheleznyh-dorog-peremennogo-toka> (дата обращения: 16.09.2025).

5. Энергоустановка электровоза двойного питания с гибридным накопителем энергии : патент на полезную модель № 191923, РФ : МПК В60L 3/00 / В. Л. Незевак ; заявитель и патентообладатель В. Л. Незевак. – № 2019131537 ; заявл. 04.10.2019 ; опубл. 13.09.2019 // Национальная электронная библиотека. – URL : https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0000192347_20190913_U1_RU (дата обращения: 16.09.2025). – Текст : электронный.

6. Евстафьев, А. М. Повышение энергетической эффективности электровозов переменного тока / А. М. Евстафьев, А. Н. Сычугов. – Текст : электронный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2013. – № 1 (34). – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-energeticheskoy-effektivnosti-elektrovozov-peremennogo-toka> (дата обращения: 16.09.2025).

7. Томилов, В. С. Совершенствование силовой цепи электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения / В. С. Томилов, И. А. Баринов, О. В. Мельниченко, С. Г. Шрамко, А. О. Линьков. – Текст : электронный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2019. – № 2. – С. 346–355. – DOI: 10.21285/1814-3520-2019-2-346-355. – URL : <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2019-2-346-355> (дата обращения: 16.09.2025).

8. Шрамко, С. Г. Повышение эффективности эксплуатации электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения / С. Г. Шрамко. – Текст : электронный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – № 4 (111). – С. 192–199. – DOI: 10.21285/1814-3520-2016-4-192-199. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-ekspluatatsii-elektrovozov-peremennogo-toka-v-rezhime-rekuperativnogo-tormozheniya> (дата обращения: 16.09.2025).

9. Вильгельм, А. С. Применение интеллектуальных систем и технологий для мониторинга и планирования энергоэффективности тяги поездов / А. С. Вильгельм. – Текст : электронный // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 39–47. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-intellektualnyh-sistem-i-tehnologiy-dlya-monitoringa-i-planirovaniya-energoeffektivnosti-tyagi-poezdov> (дата обращения: 16.09.2025).

10. Черемисин, В. Т. Автоматизированный мониторинг энергетической эффективности работы электроподвижного состава ОАО «РЖД» / В. Т. Черемисин, Д. В. Пашков, С. Ю. Ушаков. – Текст : электронный // Известия Транссиба. – 2014. – № 3 (19). – С. 87–91. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovanny-monitring-energeticheskoy-effektivnosti-raboty-elektropodvizhnogo-sostava-oao-rzhd> (дата обращения: 16.09.2025).

11. Толстомятов, В. SiC-модули «Мицубиси Электрик»: новый уровень энергоэффективности электропоездов / В. Толстомятов, К. Хатори, Н. Солтау, О. Штумпф. – Текст : электронный // Силовая электроника. – 2022. – № 2 (95). – С. 28-29. – URL : <https://power-e.ru/components/modules/full-sic/> (дата обращения: 16.09.2025).

С. З. Овсейчик, А. В. Коронец

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ПРИБОР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ БЛОКА БВС-056 МСУД ЭЛЕКТРОВОЗА 2ЭС5К

Рассматривается вариант построения автономного переносного прибора для проверки и регулировки блока входных сигналов БВС-056 микропроцессорной системы управления и диагностики электроваза 2ЭС5К. Прибор предназначается для оперативного выполнения контрольно-регулирующих операций на борту локомотива, сокращая тем самым время на выполнение таких работ. Кроме этого, с его помощью возможно проведение регулировочных работ на пунктах технического контроля локомотивов, не оснащенных необходимой контрольно-измерительной техникой.

Ключевые слова: микропроцессорная система управления и диагностики, БВС-056, МСУД-015, синхронизация с питающей сетью, регулировка.

Основой системы управления современными отечественными электровазы переменного тока 2ЭС5К является микропроцессорная система управления и диагностики (МСУД). Она управляет работой многих систем и аппаратов электроваза, в т. ч. и его электронными преобразователями – ВИП или ВИУ. Эти преобразователи являются важнейшей составляющей тягового электропривода, с помощью которой производится управление режимами работы тяговых электродвигателей электроваза. Для устойчивой и стабильной работы ВИП, МСУД должна четко фиксировать моменты перехода напряжения контактной сети через ноль. Эта задача осложняется искаженной формой сетевого напряжения. На рис. 1 приведен пример осциллограммы напряжения контактной сети [1].

Это обстоятельство отражено в ряде работ [2, 3 и т. д.]. Особенно опасны искажения вблизи окончания полупериодов. Для обеспечения синхронизации процесса формирования импульсов управления тиристорами ВИП с процессами в тяговой сети, в составе МСУД имеется блок входных сигналов – БВС-056 [4, 5]. Блок выполняет ряд функций, среди которых имеет систему формирующую сигналы начала полупериодов напряжения сети. Основой такой системы являются активные аналоговые фильтры. Параметры элементов схем этих фильтров могут изменяться с течением времени. В связи с этим, вне графика регламентных

работ, в случаях, когда фиксируются броски токов тяговых двигателей или появляется сигнал «СИ» (снятие импульсов), документацией предписано проводить измерение сдвига фазы сигнала «п/п» (полупериод), формируемого в БВС-056, от перехода входного синусоидального сигнала через нулевое значение. Фазовый сдвиг φ не должен превышать 1 электрического градуса, что соответствует 5,5 мкс (рис. 2).

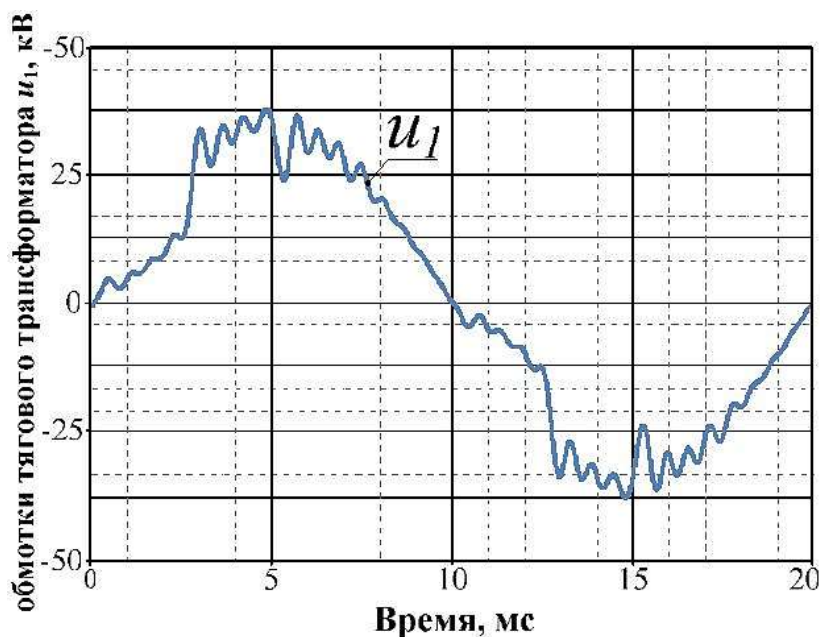


Рис. 1. Осциллограмма напряжения в контактной сети

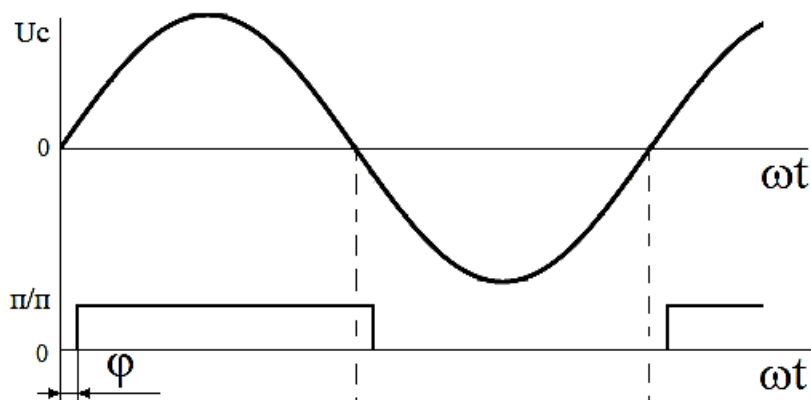


Рис. 2. Формирование сигнала «п/п»

В настоящее время выполнение данной операции возможно в условиях цеха электроники, оснащенного стационарным специализированным стендом, выпускаемым промышленно. Для проведения контрольной операции, все БВС-056 электровоза нужно снять и транспортировать

в цех а, затем, обратно. Операции транспортировки могут занимать значительный отрезок времени. Кроме этого, в случаях возникновения отмеченных выше ситуаций по сбоям в работе МСУД, выполнить регулировочные работы в условиях депо или ПТО, которые не оснащены необходимыми контрольно-измерительными устройствами и приборами, оказывается невозможным.

В данной статье рассматривается вариант построения автономного, портативного прибора для выполнения регулировочных работ непосредственно на локомотиве. Предпосылками для этого являются: появление компактных, но имеющих большую электрическую емкость аккумуляторных батарей и появление дешевых и доступных микроконтроллеров, которые существенно упрощают устройство прибора.

Функциональная схема прибора представлена на рис. 3.

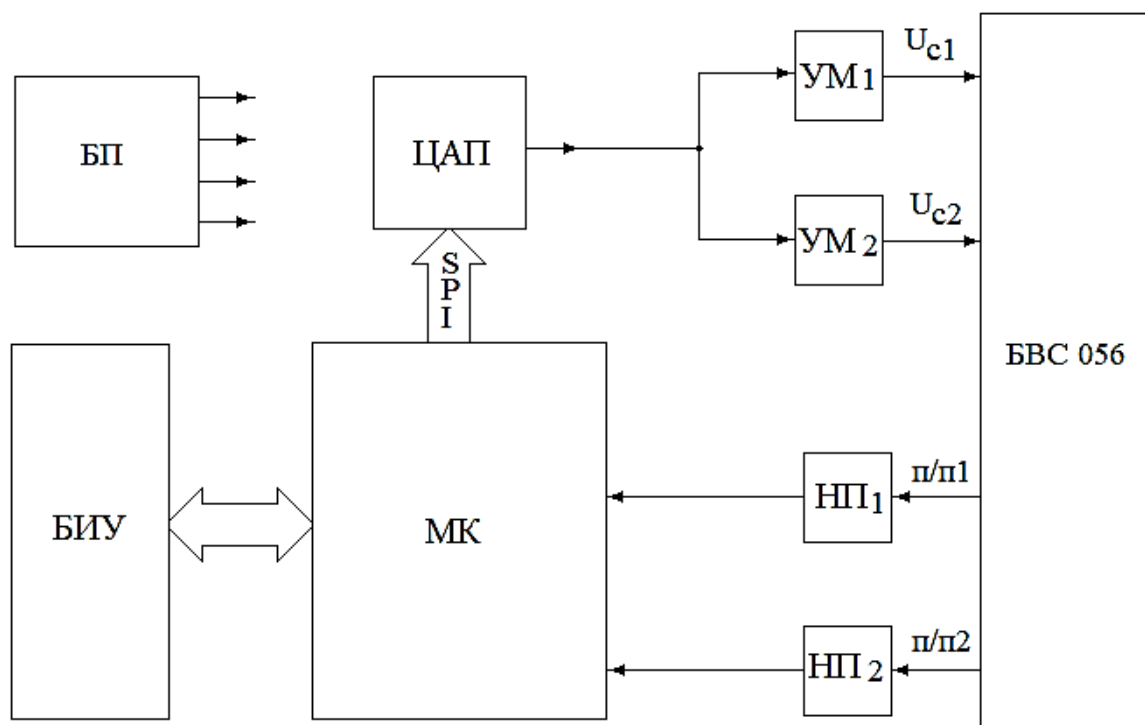


Рис. 3. Функциональная схема прибора

Основой прибора является микроконтроллер, имеющий в своей архитектуре каналы прямого доступа к памяти. На проверяемый блок БВС-056 поступает входной синусоидальный сигнал, формируемый цифро-аналоговым преобразователем ЦАП из потока входных данных, которые поступают по интерфейсу SPI от микроконтроллера. Усилители УМ1 и УМ2 усиливают сигнал от ЦАП. Выходные сигналы «п/п1» и «п/п2» от двух каналов БВС-056 подаются на нормирующие преобра-

зователи, которые обеспечивают сопряжение уровней сигналов «п/п» с уровнем входных сигналов микроконтроллера. Кроме этого, они защищают входы микроконтроллера от возможных перенапряжений. Управление работой прибора и отображением результатов измерений производится блоком индикации и управления – БИУ. Блок питания, источником энергии которого являются аккумуляторы, вырабатывает необходимые уровни напряжений, необходимые для работы остальных узлов прибора а, так же, проверяемого блока БВС-056.

В основе программного алгоритма микроконтроллера лежит использование прерываний. Задействовано два аппаратных прерывания. Первое прерывание инициализируется в момент прихода положительного сигнала U_{c1} (U_{c2}). Программа обработки этого прерывания запускает один из таймеров микроконтроллера, работающего в режиме счета и устанавливает его счетчик в нулевое значение. Второе прерывание возникает тогда, когда от БВС-056 поступит фронт импульса «п/п». Подпрограмма обработки этого прерывания останавливает счет первого таймера. В результате, счетчик таймера содержит число, пропорциональное фазовому сдвигу между двумя входными сигналами. Распознается фазовый сдвиг как опережающий, так и запаздывающий. Прибор производит поочередную проверку каналов формирования сигналов «п/п».

По мнению авторов, использование разрабатываемого прибора в локомотивных депо и на пунктах технического обслуживания существенно повысить оперативность выполнения регулировочных работ.

Библиографический список

1. Мельниченко, О. В. Повышение энергетической эффективности тяговых электроприводов электровозов переменного тока : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук / Мельниченко Олег Валерьевич. – Хабаровск, 2015. – 22 с. – EDN ZPRXMH. – Текст : непосредственный.

2. Кулинич, Ю. М. Повышение синусоидальности формы напряжения в контактной сети при работе электровозов однофазно-постоянного тока / Ю. М. Кулинич, Ю. С. Кабалык. – Текст : непосредственный // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 390–393. – EDN LPXAIR.

3. Овсейчик, С. З. Моделирование устройства синхронизации МСУД-н / С. З. Овсейчик. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2018. – Т. 2. – С. 327–330. – EDN XTSMHZ.

4. Микропроцессорная система управления и диагностики для электровазозов переменного тока МСУД-015 : руководство по эксплуатации, АРКИ.421455.015РЭ. – Новочеркасск : ОАО «ВЭЛНИИ. – Текст : непосредственный.

5. Микропроцессорная система управления и диагностики оборудования электровазозов (МСУД-Н) : руководство по эксплуатации ИДМБ.421455.001 РЭ, (ЗТС.676.004 РЭ). – Новочеркасск : ОАО «ВЭЛНИИ. – Текст : непосредственный.

С. Г. Истомин, О. Д. Юрасов

*Омский государственный университет путей сообщения,
г. Омск, Россия*

Д. В. Черепанов

*ТЧ-31 Омск,
г. Омск, Россия*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МВПС ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассмотрены преимущества применения аддитивных технологий на производстве. Представлены 3-D модели деталей моторвагонного подвижного состава. Рассмотрены материалы для выполнения печати на экструзионном и фотополимерном 3D-принтере. Приведены наглядные материалы по установке напечатанных деталей на реальный МВПС, а также произведен расчёт себестоимости производства запасных частей.

Ключевые слова: аддитивные технологии, моторвагонный подвижной состав, электромагнитный контактор, ручка от дверей межвагонных переходов, крышка узла блокировочных контактов, экструзионный 3D-принтер, фотополимерный 3D-принтер.

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. направлена на развитие железнодорожного транспорта и предусматривает широкое использование инноваций в этой сфере [1]. Одним из инновационных и перспективных направлений в машиностроении за последнее десятилетие стало аддитивное производство. Множество компаний по всему миру внедряют на свои производства аддитивные технологии и компания ОАО «РЖД» не стала ис-

ключением. Использование аддитивных технологий должно помочь ОАО «РЖД» повысить эффективность технического обслуживания и ремонта моторвагонного подвижного состава.

Применение аддитивных технологий при техническом обслуживании и текущем ремонте моторвагонного подвижного состава дает сразу несколько преимуществ.

Во-первых, производители не всегда предусматривают возможность ремонта своих изделий и предполагают покупку нового образца, в случае выхода его из строя. При этом выход из строя может быть вызван простейшим элементом конструкции, например, кронштейном или защелкой. Аддитивные технологии позволяют воссоздать поврежденный элемент изделия. Экономический эффект в данном случае оценивается разницей в стоимости производства элемента конструкции и покупкой целого изделия.

Во-вторых, аддитивные технологии позволяют производить конструктивные элементы, которые проблематично или невозможно восполнить закупкой ввиду снятия с производства, закрытия предприятий изготовителей, санкций или иных причин. Экономический эффект в данном случае оценивается как разница между стоимостью производства изделий для технического обслуживания и текущего ремонта моторвагонного подвижного состава и стоимостью замены оборудования, не имеющего источников запчастей для ремонта на новое [2-3].

Кроме того, сокращение потребности в складских запасах достигается за счет возможности быстрого изготовления требуемой номенклатуры по запросу. Сокращение логистических издержек подразумевает возможность проведения оперативного ремонта, за счет возможности быстрого производства требуемой номенклатуры, что в свою очередь влечет к сокращению простоев эксплуатируемых изделий. Схема аддитивного производства в моторвагонном депо изображена на рис. 1.

Ожидаемый экономический эффект складывается за счет сокращения затрат на приобретение запасных частей для ремонта и обслуживания МВПС по заявке через ДМТО.

Во второй половине 2023 г. компания ОАО «РЖД» начала реализацию проекта, направленного на сокращение затрат на приобретение запасных частей для МВПС за счет внедрения аддитивных технологий. В рамках этого проекта для моторвагонных депо были закуплены 3D-принтеры. Моторвагонное депо ТЧ-31 «Омск» получило фотополимерный 3D-принтер, а ТЧ-32 «Новосибирск» – экструзионный. В результате работы были созданы 3D-модели для следующих деталей: большая шестерня стеклоочистителя, разъем на блок БУ-5 системы РПДА, разъем

блока ММ-5 под картридж БНИ системы РПДА, толкатель контактов реле МКУ-48, фиксатор кассет КР в блоке БР системы КЛУБ, гайка кнопки КЕ011У3, переключатель ПВ-3 и переключатель РПС-1. Все детали изготовлены в условиях депо и уже находятся в эксплуатации.

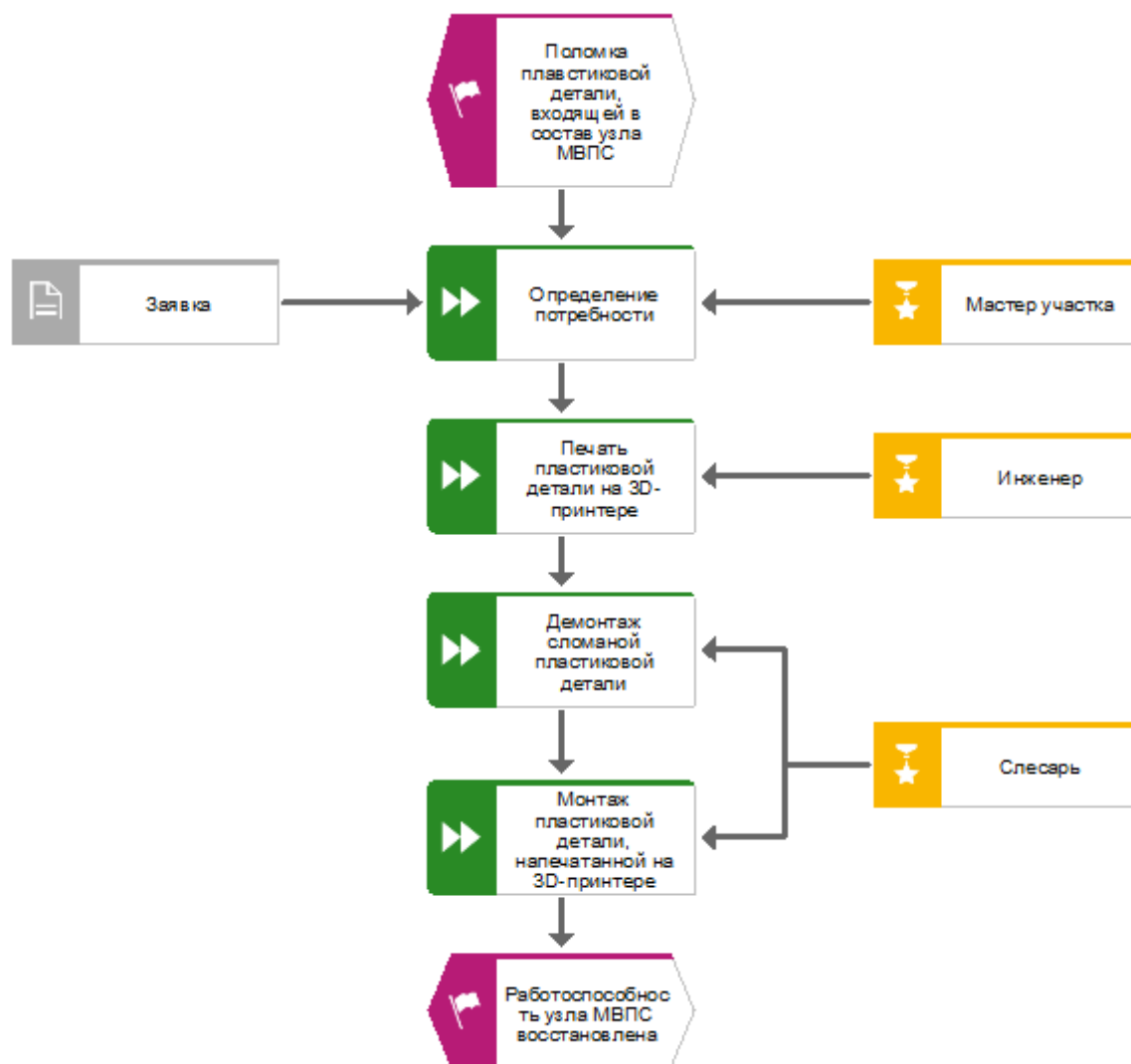


Рис. 1. Схема аддитивного производства деталей и запасных частей моторвагонного подвижного состава

В рамках данной статьи авторы рассмотрели несколько деталей МВПС, которые ранее не моделировались и не создавались с использованием аддитивных технологий.

В качестве одного из конструктивных элементов для анализа был выбран электромагнитный контактор МК1-30А, восстановление которого невозможно в депо, ввиду отсутствия запасных частей (рис. 2).

При анализе конструкции контактора и его поломок, были выявлены 5 конструктивных элементов, которые становятся непригодными для дальнейшей эксплуатации по причине их полного или частичного разрушения вследствие нештатной работы аппарата [4]. К этим деталям относятся:

- дугогасительная камера;
- колодка трехполюсной траверсы (Б);
- колодка трехполюсной траверсы (М);
- трехполюсная траверса;
- шарнир трехполюсной траверсы.



Рис. 2. Детали электромагнитного контактора МК1-30А

Следующим конструктивным элементом для анализа стала ручка от дверей междвагонных переходов (рис. 3), т. к. запасные в депо отсутствовали, а их закупка не осуществлялась.



Рис. 3. Ручка от дверей междвагонных переходов

Заключительным конструктивным элементом, проанализированным совместно с работниками депо ТЧ-31 «Омск» стала крышка узла блокировочных контактов (рис. 4).



Рис. 4. Крышка узла блокировочных контактов

Реверс-инжиниринг – это процесс изучения существующего изделия, для получения знаний о его конструкции, функциональности или особенностях производства [5].

В результате проведенного реверс-инжиниринга деталей МВПС были разработаны их 3D-модели в программе КОМПАС 3D (рис. 5–7). Для дверной ручки межвагонных переходов были созданы два варианта моделей.



Рис. 5. 3D-модели деталей электромагнитного контактора МК1-30А

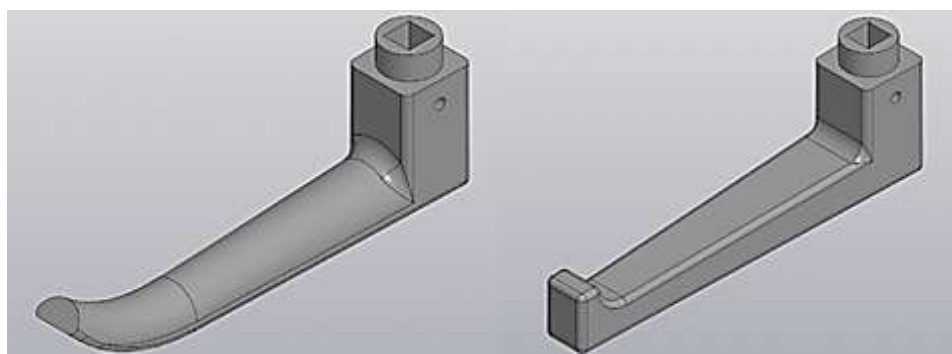


Рис. 6. 3D-модели ручек от дверей межвагонных переходов

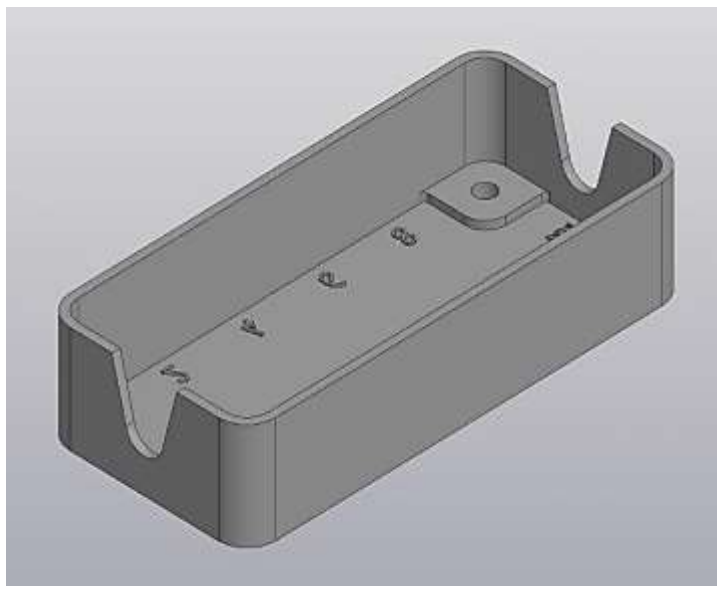


Рис. 7. 3D-модель крышки узла блокировочных контактов

В ходе выполнения работы было принято решение выполнить печать двух комплектов запасных частей: один на экструзионном 3D-принтере и второй – на фотополимерном 3D-принтере.

Для печати запасных частей электромагнитного контактора и дверных ручек на экструзионном 3D-принтере был выбран один из самых популярных пластиков – PETG. PETG обладает рядом достоинств, а именно: ударопрочность, гибкость, отсутствие усадки, высокая термостойкость и сильная межслойная адгезия. Для печати крышки узла блокировочных контактов был выбран пластик SBS Watson за его прозрачность [6–13].

Для печати на фотополимерном 3D-принтере был выбран фотополимер Anycubic Water-Wash Resin+, т. к. он прозрачен, имеет низкую усадку и вязкость.

Процесс аддитивного производства начинается с загрузки 3D-модели детали в слайсер, где выставляются настройки печати и поддержки, после чего происходит нарезка модели на слои и экспорт в G-код (рис. 8). Полученный код загружается в принтер и начинается процесс печати. После завершения печати некоторые детали нуждаются в постобработке. Она может включать в себя: удаление поддержек, соединение составных частей в единую деталь, обработка химическими веществами.

На рис. 9 представлены готовые детали, напечатанные на экструзионном 3D-принтере в студенческом инженеринговом центре ОмГУПС.

На рис. 10 представлены готовые детали, напечатанные на фотополимерном 3D-принтере в моторвагонном депо ТЧ-31 «Омск».

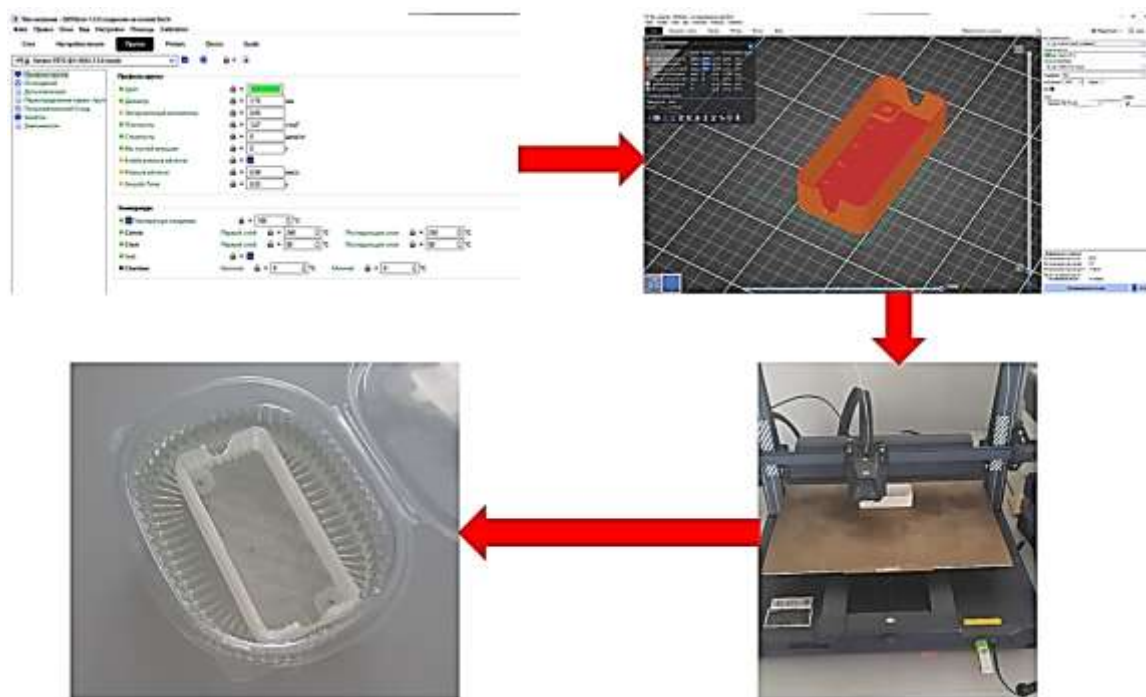


Рис. 8. Процесс изготовления запасных частей МВПС



Рис. 9. Детали, напечатанные на экструзионном 3D-принтере



Рис. 10. Детали, напечатанные на фотополимерном 3D-принтере

Полученные в результате печати детали собираются в единый узел и устанавливаются на МВПС (рис. 11). Все детали были подвергнуты испытаниям на электропоезде серии ЭД4М. По результатам испытаний было принято решение об их внедрении в технологические процессы моторвагонных депо ТЧ-31 и ТЧ-32.



Рис. 11. Установка деталей на МВПС

В Таблице представлены данные о себестоимости производства запасных частей на экструзионном и фотополимерном 3D-принтерах, закупочная стоимость и экономический эффект от внедрения аддитивных технологий.

Таблица

**Себестоимость производства запасных частей
на экструзионном и фотополимерном 3D-принтерах**

Название детали	Себестоимость, руб.		Закупочная стоимость, руб.	Экономический эффект, руб.	
	Экструзионный 3D-принтер	Фотополимерный 3D-принтер		Экструзионный 3D-принтер	Фотополимерный 3D-принтер
Дугогасительная камера	310,37	354,2	14620,48 (новый контактор)	14173,48	14200,08
Колодка трехполюсной траверсы (Б)	2,98	2,68			
Колодка трехполюсной траверсы (М)	1,48	1,54			
Трехполюсная траверса	127,48	66,33			
Шарнир трехполюсной траверсы	0,86	0,79			
Дверная ручка (закругленная)	103,58	119,12	Отсутствует	-	-
Дверная ручка (прямая)	114,36	130,51	Отсутствует	-	-
Крышка УБК	103,72	109,61	Отсутствует	-	-

Себестоимость ремкомплекта, напечатанного на экструзионном 3D-принтере, для восстановления контактора МК1-30А составит 447 рублей. Экономический эффект в таком случае составит 14 173 рубля 48 копеек.

Себестоимость ремкомплекта, напечатанного на фотополимерном 3D-принтере, для восстановления контактора МК1-30А составит 420 рублей. Экономический эффект в таком случае составит 14 200 рублей.

Себестоимость дверных ручек и крышки узла блокировочных контактов представлены в Таблице.

Экономический эффект от внедрения аддитивных технологий обуславливается сокращением затрат на закупку запасных частей и узлов МВПС за счет ремонта вышедших из строя узлов и агрегатов с использованием ремкомплектов, изготовленных на 3D-принтере.

Библиографический список

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации № 3363-р [принято Правительством

Российской Федерации 27 ноября 2021 г.]. – Москва : Проспект ; Санкт-Петербург : Кодекс, 2021. – 285 с. – Текст : непосредственный.

2. ГОСТ Р 57558-2017 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения». – Текст : непосредственный.

3. ГОСТ Р 57589-2017 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования». – Текст : непосредственный.

4. Контактторы электромагнитные серии МК. Руководство по эксплуатации БКЖИ.644200.001РЭ. – Текст : непосредственный.

5. Что такое реверс-инжиниринг // 3DVision : сайт. – URL : <https://3dvision.su/blog/chto-takoe-revers-inzhiniring>. – Текст : электронный.

6. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) // 3dtoday.ru : сайт. – URL : https://3dtoday.ru/wiki/FDM_print. – Текст : электронный.

7. Подробный гид по выбору пластика для 3D-печати // top3dshop : сайт. – URL : <https://top3dshop.ru/blog/podrobnyj-gid-po-vyboru-plastika-dlja-3d-pechat.html>. – Текст : электронный.

8. Фотополимерная 3D-печать. 3D-принтеры по технологии: LCD, SLA, DLP // 3DiY : сайт. – URL : <https://3d-diy.ru/blog/fotopolimernaya-3d-printery-po-tehnologii-lcd-sla-dlp>. – Текст : электронный.

9. Моделирование для печати на 3D-принтере в КОМПАС 3D // 3dtoday.ru : сайт. – URL : <https://3dtoday.ru/blogs/woodworkinginabox/modelirovanie-dlya-pechat-na-3d-printere-v-kompas-3d>. – Текст : электронный.

10. PETg пластик U3 M5 Anthracite 1 кг для 3D-принтера // u3print.com : сайт. – URL : <https://u3print.com/plastik-dlya-3d-printera/petg-plastik-u3-m5-anthracite-1-kg>. – Текст : электронный.

11. Anycubic Water-Wash Resin+ // store.anycubic.com : сайт. – URL : <https://store.anycubic.com/products/water-wash-resin>. – Текст : электронный.

12. 3D-принтер QIDI Tech X-Max 3 // lider-3d.ru : сайт. – URL : https://lider-3d.ru/catalog/3d_printery/3d_printer_qidi_tech_x_max_3. – Текст : электронный.

13. 3D-принтер Anycubic Photon Mono M5 // lider-3d.ru : сайт. – URL : https://lider-3d.ru/catalog/3d_printery/3d_printer_anycubic_photon_mono_m5. – Текст : электронный.

В. В. Степанов

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

А. В. Майнингер

*Вагоноремонтное депо Чита,
г. Чита, Россия*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕМОНТА ИННОВАЦИОННЫХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассматривается процесс оптимизации ремонта инновационных грузовых вагонов в контексте цифровизации. Предлагается внедрение цифровых технологий, таких как цифровые двойники, для автоматизации контроля состояния узлов вагонов. Это позволит проводить диагностику в реальном времени и переходить к ремонту по фактическому техническому состоянию вместо планируемого. Внедрение автономных роботизированных комплексов, таких как Boston Dynamics Spot, существенно улучшает диагностику и повышает точность ремонта вагонов, минимизируя влияние человеческого фактора. Очевидно, что переход к таким методам становится стратегической необходимостью в условиях цифровой трансформации транспортной отрасли.

Ключевые слова: грузовой вагон, инновации, ремонт, цифровой двойник, контроль, параметр, техническое состояние.

В настоящее время в вагонном хозяйстве ОАО «РЖД» наблюдается устойчивая тенденция роста парка инновационных грузовых вагонов с улучшенными характеристиками с нагрузкой на ось 25 и 27 тс. По оценкам экспертов доля инновационных вагонов в парке грузовых вагонов в 2025 г. составляет более 20 % и продолжает увеличиваться, несмотря на наметившееся снижение темпов роста. Инновационные вагоны проектируются с использованием современных износостойких материалов и технологий изготовления деталей, обеспечивающих повышенный эксплуатационный ресурс. Например, за счет применения износостойких элементов межремонтный пробег тележки модели 18-9855 составляет 1 млн км или 8 лет, а улучшенная динамика, в совокупности с использованием колес повышенной твердости и специальных тормозных колодок, снижает скорость износа и темп развития выщербин колес, что увеличивает срок их эксплуатации до 12 лет. Одним из направлений оптимизации ремонтного цикла грузового вагона является обеспечение

равноресурсности основных комплектующих, однако, в реальных обстоятельствах эксплуатации достичь этого практически невозможно. Таким образом, существующая система плановых видов ремонта грузовых вагонов по нормируемым показателям – деповской ремонт после пробега 160 000 км, капитальный ремонт каждые 7–10 лет, для инновационных вагонов не эффективна.

На сети железных дорог России в последние годы широко внедряется цифровая система контроля отдельных параметров состояния инновационных вагонов в эксплуатации. Сегодня эксплуатационниками контролируется большинство узлов подвижного состава на ходу следования. Это создает предпосылки к автоматизации процесса принятия решения о достижении вагоном предельного технического состояния на основе оценки соответствия разработанным критериям. Помимо распространенных на сети средств диагностики (КТСМ, КТИ, ОВОД, ПАК-М и пр.), подспорьем будет оснащение главных узлов грузового вагона индикаторами износа (RFID-метками).

На сегодняшний момент имеется возможность запитать такими умными идентификаторами колодки, буксы, тормозное оборудование и, в принципе, автосцепку и поглощающий аппарат. Тем самым возникают предпосылки, чтобы изменить систему технического обслуживания инновационных вагонов. Подразумевается, что за период жизненного цикла вагон с улучшенными характеристиками пройдет 4 деповских ремонта, 1 капитальный и 12 текущих. В будущем эту схему можно изменить. Появляется реальная возможность ухода от плановых видов ремонта путем реализации концепции проведения ремонта по техническому состоянию узлов и деталей, что отмечается специалистами управления вагонного хозяйства.

В условиях деповского ремонта на каждую единицу подвижного состава составляется индивидуальная дефектная ведомость, в соответствии с которой на основе типового технологического процесса ремонта разрабатывается индивидуальный технологический процесс ремонта конкретной единицы подвижного состава. Таким образом, основным элементом при составлении дефектной ведомости является реализация автоматического определения нормируемых показателей геометрической точности конструктивных элементов грузового вагона, начиная от тягово-сцепных устройств, ходовой части, рамы и заканчивая элементами кузова. Носителем показателей точности является цифровой двойник единицы подвижного состава. Определение действительных значений контролируемых параметров возможно произвести с помощью автономных роботизированных комплексов.

Реализация концепции ремонта по техническому состоянию требует интеграции данных от различных источников. RFID-метки, установленные на ключевых узлах вагона, обеспечивают непрерывный мониторинг их состояния в режиме реального времени. Эти данные, в совокупности с информацией, полученной от сетевых средств диагностики, формируют полную картину о техническом состоянии вагона.

Цифровой двойник вагона, аккумулируя всю эту информацию, становится основой для принятия решений о необходимости проведения ремонта. Он позволяет сопоставлять текущее состояние узлов и деталей с нормативными значениями, прогнозировать остаточный ресурс и планировать ремонтные работы с учетом фактического состояния. Автоматизированный анализ данных, реализованный в цифровом двойнике, минимизирует влияние человеческого фактора и повышает точность диагностики.

Автономные роботизированные комплексы, такие как Boston Dynamics Spot, открывают новые возможности для диагностики вагонов. Они способны проводить детальный осмотр и измерения геометрических параметров конструктивных элементов, выявлять дефекты и повреждения, которые сложно обнаружить визуально. Информация, полученная от роботизированных комплексов, автоматически включается в цифровой двойник вагона, дополняя общую картину состояния. В условиях цифровой трансформации транспортной отрасли внедрение автономных роботизированных комплексов становится стратегической необходимостью. Робот Boston Dynamics Spot с адаптированным оборудованием предлагает революционное решение этих проблем, сочетая:

- высокоточную диагностику (компьютерное зрение, LiDAR, термография);

- непрерывную работу (24/7 в автономном режиме);
- интеграцию с цифровыми системами управления депо;

Робот Boston Dynamics Spot имеет ряд преимуществ:

- мобильность – свободное перемещение по территории депо;
- адаптивность – работа в сложных условиях (пыль, вибрация, перепады температур);
- модульность – возможность оснащения специализированным оборудованием.

Использование робота Boston Dynamics Spot для автоматизации процесса ремонта по техническому состоянию предлагает следующие инновационные решения:

1. Гибридный алгоритм анализа дефектов, сочетающий:
 - 2D-изображения (YOLOv8);

- 3D-модели (LiDAR);
- термограммы (FLIR).

2. Система динамической маршрутизации – оптимизация пути осмотра с учётом:

- расположения вагонов;
- приоритета проверки (например, вагоны с истёкшим сроком ТО).

3. Автоматизированное формирование ремонтных предписаний с привязкой к цифровым чертежам узлов.



Рисунок. Boston Dynamics Spot

Основные технические характеристики работы Boston Dynamics Spot представлены в Таблице.

Таблица

Технические характеристики робота Boston Dynamics Spot

Категория	Параметр	Значение	Примечание
Общие характеристики	Вес	32,5 кг	Без дополнительного оборудования
	Габариты (Д×Ш×В)	1,1×0,5×0,6 м	В рабочем положении
Двигательная система	Количество моторов	12 (по 3 на каждую ногу)	Бесщеточные сервомоторы
	Углы поворота суставов	Бедро: $\pm 120^\circ$, колено: $\pm 135^\circ$, голень: $\pm 270^\circ$	Позволяет преодолевать лестницы и препятствия
Грузоподъемность	Стандартная	14 кг	Включая дополнительное оборудование
Рабочие условия	Температурный диапазон	-20 °C до +45 °C	Специальная версия для экстремальных условий

Окончание Таблицы

Категория	Параметр	Значение	Примечание
Навигация	Система позиционирования	SLAM (LiDAR+Visual Odometry)	Точность ± 2 см
	Датчики	5x стереокамеры, IMU, LiDAR (опционально)	360° обзор
Коммуникации	Беспроводные интерфейсы	Wi-Fi 6 (802.11ax), 4G/LTE (опционально)	Диапазон управления до 100 м
Вычислительные ресурсы	Процессор	NVIDIA Jetson AGX Orin	Требуется для обработки данных с камер и лидара
Энергосистема	Аккумулятор	Литий-ионный	Время зарядки: 2 часа
Программное обеспечение	Операционная система	Linux (Ubuntu 20.04 LTS)	Поддержка ROS 2

Внедрение системы обеспечит:

- повышение точности диагностики (снижение ошибок до 1-2 %);
- увеличение скорости приёмки в 3 раза (с 30 до 10 мин/вагон);
- улучшение условий труда – исключение необходимости работы персонала в опасных зонах.

Одним из преимуществ автономных роботизированных комплексов Boston Dynamics Spot является высокая функциональная готовность, позволяющая использовать их без предварительной подготовки или реконструкции производственных помещений. Необходимо только произвести обучение искусственного интеллекта в реальных условиях эксплуатации и тренировку моделей. Обучение заключается в сборе и подготовке данных, которые будут использоваться для тренировки нейросетевых моделей: сбор изображений и 3D-сканов кузовов, термограмм узлов, разметка данных, нормализация изображений, фильтрация выбросов (удаление артефактов сканирования алгоритмами DBSCAN), калибровка по температуре (привязка цветов на изображении к точным температурным значениям), выбор архитектур нейросетей, выделение областей интереса (автоматическое обнаружение узлов) и т. д. После обучения модели проходят всестороннюю проверку на тестовом наборе данных и в реальных условиях депо.

Величину капитальных вложений, необходимых для реализации процесса ремонта грузовых вагонов по техническому состоянию на основе цифровых технологий, укрупненно определяется по формуле

$$K = C_{\text{нов}} + Tr + C_{\text{по}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{нов}}$ – стоимость нового технологического оборудования;

T_r – стоимость транспортных расходов принимается 1 % от вновь приобретенного оборудования;

$C_{\text{по}}$ – стоимость программного обеспечения робота, включая обучение ИИ.

Стоимость робота Boston Dynamics Spot с комплектом навесного оборудования и аккумулятора составляет 10 475 000 руб., стоимость программного обеспечения – 1 200 000 руб.

$$K = 10\,475\,000 + 104\,750 + 1\,200\,000 = 11\,779\,750 \text{ руб.}$$

Учитывая то, что робот Boston Dynamics Spot имеет производительность в 3 раза выше двух осмотровиков с ежемесячной зарплатой 90 000 руб., срок окупаемости составит 3,7 года. При этом точность диагностики Boston Dynamics Spot составляет более 98 %, система управления самообучающаяся на основе нейросетей.

Внедрение роботизированных комплексов позволяет автоматизировать процесс составления дефектных ведомостей и разработки технологических процессов ремонта. Это сокращает время простоя вагонов в депо, повышает эффективность ремонтных работ и снижает затраты на техническое обслуживание. Автоматизация процессов диагностики и ремонта способствует повышению безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта и продлению срока службы вагонного парка.

Переход к системе ремонта по техническому состоянию, основанной на цифровых технологиях, является важным шагом в развитии железнодорожной отрасли. Он позволяет оптимизировать процессы технического обслуживания, повысить надежность и безопасность эксплуатации вагонного парка, а также снизить затраты на ремонт и обслуживание.

Библиографический список

1. Гапанович, В. А. Перспективы развития инновационного вагоностроения / В. А. Гапанович, С. В. Калетин. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 7. – С. 58–62.

2. Boston Dynamics. – URL : <https://www.bostondynamics.com>. – Текст : электронный.

3. Как это устроено: SPOT. – URL : <https://habr.com/ru/post/521878>. – Текст : электронный.

С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов
*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В статье рассматривается применение гидравлических гасителей колебаний в рессорном подвешивании подвижного состава железных дорог. Отмечается, что гидрогасители весьма часто подвергаются различным неисправностям, среди которых наиболее распространённой является течь рабочей жидкости. Приведена статистическая информация по количеству и видам неисправностей гидрогасителей как нетягового, так и тягового подвижного состава. В качестве меры по повышению надежности работы гидрогасителей предложена конструкция устройства гашения колебаний с переменной характеристикой, ключевой особенностью которой является упругосоединенный поршень со штоком. Описана конструкция и возможные преимущества предлагаемой конструкции гидрогасителя.

Ключевые слова: подвижной состав, рессорное подвешивание, гидравлический гаситель колебаний, гидродемпфер, локомотив, электровоз, пассажирский вагон.

Одним из основных типов диссипативных элементов рессорного подвешивания подвижного состава железных дорог являются гидравлические гасители колебаний. В рессорном подвешивании различных типов локомотивов, пассажирских вагонов в основном применяются гидравлические гасители колебаний телескопической конструкции [1–4]. Однако гидрогасители практически не применяются в рессорном подвешивании грузовых вагонов, где основным типом являются фрикционные гасители клинового типа. Но в последнее время достаточно активно ведутся работы по развитию скоростных грузовых перевозок на железных дорогах [5]. Для реализации данного направления предлагаются грузовые поезда, разработанные на основе современных типов электропоездов, например, «Финист» (ЭС104/ЭС105) [6], а также разработаны и изготовлены несколько типов скоростных фитинговых платформ, в рессорном подвешивании которых применяются гидрогасители [7].

В ходе эксплуатации подвижного состава гидравлические гасители весьма часто подвержены различным неисправностям, например, под-

кожуховое льдообразование, различные механические повреждения, износ резиновых уплотнений, течь рабочей жидкости [8]. Последний указанный тип неисправности занимает наибольшую долю в общей статистике отказов гидрогасителей. В качестве примера приведена статистическая информация по неисправностям гидравлических гасителей колебаний по парку пассажирских вагонов Восточно-Сибирского филиала АО «ФПК» за 2019–2022 гг. Информация представлена в виде диаграммы на рис. 1.

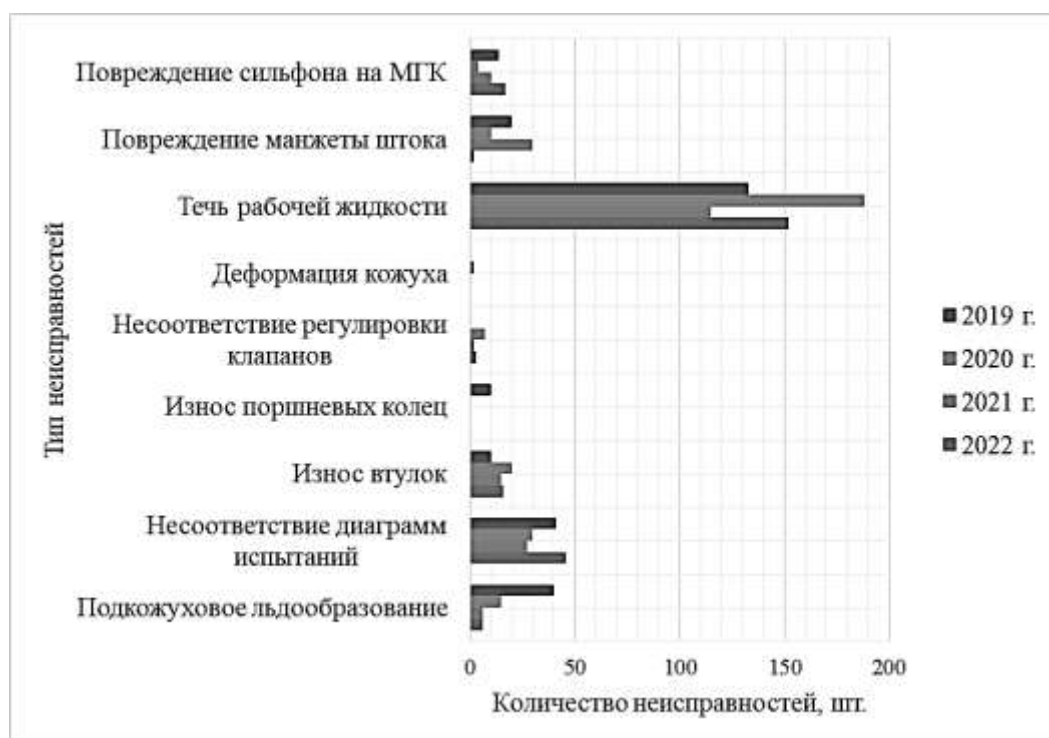


Рис. 1. Количество и виды неисправностей гидрогасителей пассажирских вагонов, входящих в парк Восточно-Сибирского филиала АО «ФПК» за 2019–2022 гг.

В [9] отмечается, что наиболее подвержены неисправностям гидрогасители, устанавливаемые в первой ступени рессорного подвешивания электровозов 2(3)ЭС5К «Ермак». Авторы, сравнивая количество отказов гидрогасителей первой и второй ступеней рессорного подвешивания данной серии электровозов, делают вывод, что гидродемпферы первой ступени подвешивания подвергаются неисправностям в 9 раз чаще, чем гидродемпферы второй ступени подвешивания. Причиной частых отказов указываются действие высоких динамических усилий, которые возникают из-за сильной вибрации с большой амплитудой и высокой частотой. На рис. 2 показан пример течи рабочей жидкости у гидродемпфера первой ступени подвешивания электровоза 3ЭС5К «Ермак».



Рис. 2. Течь рабочей жидкости гидравлического гасителя колебаний буксового подвешивания электровоза ЗЭС5К «Ермак»

В силу большой численности электровозов серии «Ермак», мероприятия, связанные с модернизацией буксовой ступени рессорного подвешивания, должны проводиться с минимальным уровнем переделок. Добиться этого возможно заменив гидравлический гаситель колебаний или доработав уже существующий.

С целью устранения выявленной проблемы было предложено устройство гашения колебаний с переменной характеристикой [10]. Конструктивная схема данного устройства представлена на рис. 3.

Отличительной чертой данной конструкции гидрогасителя является упругая связь поршня и штока, обеспечиваемая пружинами. Данное техническое усовершенствование направлено на расширение возможностей гидравлических гасителей подвижного состава, а именно для реализации переменной характеристики сопротивления в зависимости от величины перемещения штока с упругозакрепленным поршнем и для повышения эффективности гашения колебаний при низко- и высокочастотном нагружении при движении подвижного состава. Поршневая часть предлагаемого гидрогасителя представлена на рис. 4.

Отличием от классической конструкции гидрогасителя телескопического типа является способ соединения поршня и штока. В конструкциях эксплуатируемых гидрогасителей поршень и шток жестко соединены, например, с помощью резьбового соединения. В предлагаемой

конструкции реализована упругая связь, путем использования упругих элементов, которые соединяют поршень и элементы штока.

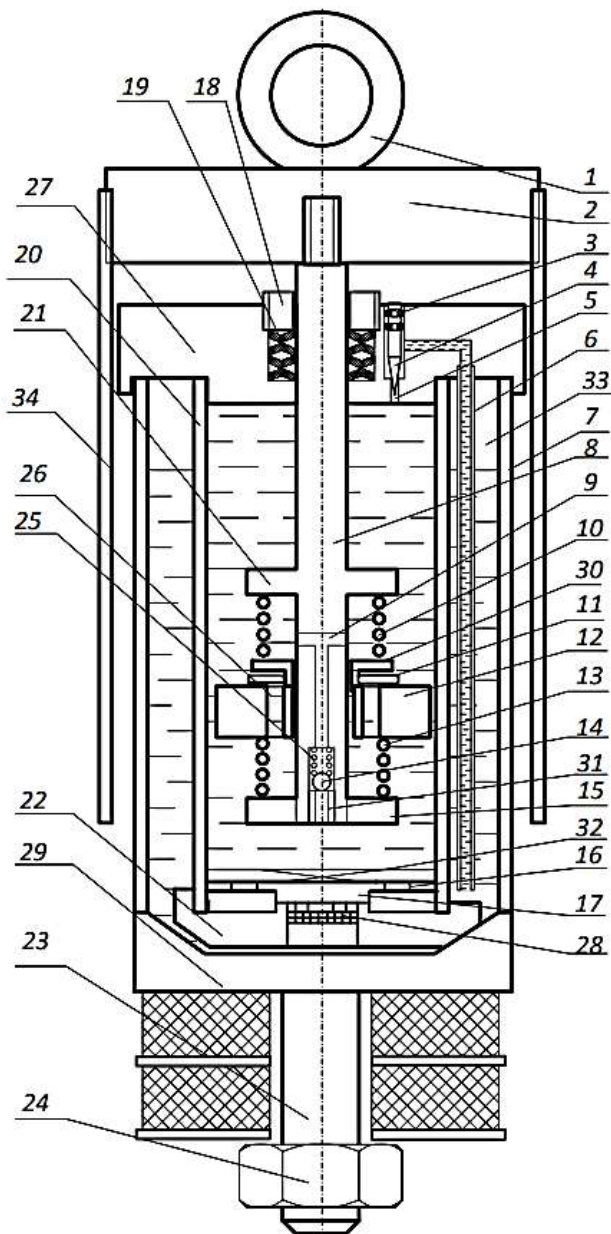


Рис. 3. Схема устройства гашения колебаний с переменной характеристикой: 1 – серьга; 2 – проушина; 3 – резиновые кольца; 4 – дроссельная игла; 5, 9 – дроссельные отверстия; 6 – переливная трубка; 7 – корпус; 8 – шток; 10, 13 – пружины; 11 – пластинчатый клапан; 12 – поршень; 14 – шарик; 15 – нижняя ограничительная шайба; 16 – обратный клапан; 17 – седло; 18 – гайка; 19 – уплотнения штока; 20 – рабочий цилиндр; 21 – верхняя ограничительная шайба; 22 – днище; 23 – резьбовая шпилька; 24 – гайка; 25 – пружина; 26 – дроссельные каналы поршня; 27 – направляющая; 28 – сетка-фильтр; 29 – днище корпуса; 30, 31 – втулки; 32 – лепестковая пружина; 33 – рекуперативная камера; 34 – защитный кожух

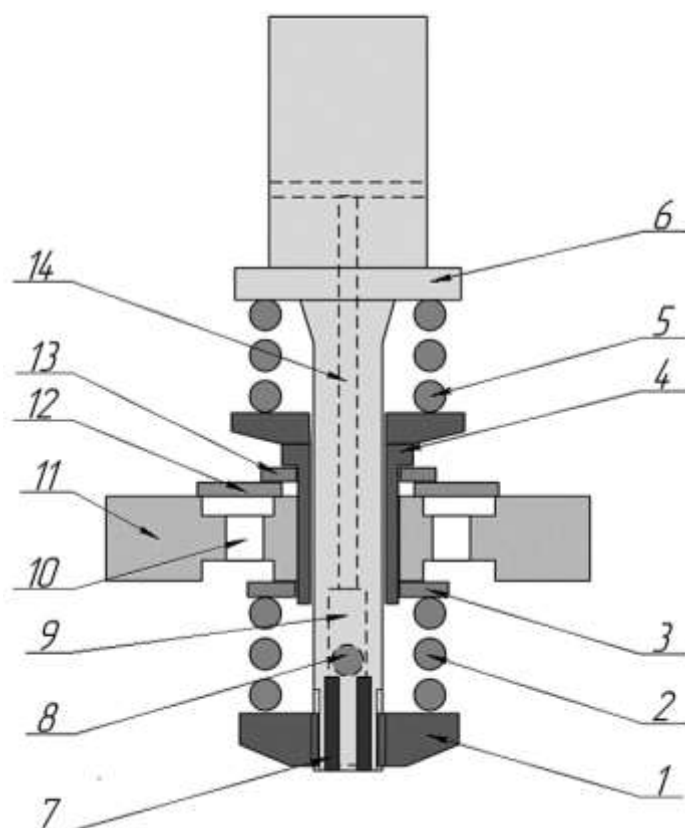


Рис. 4. Поршневая часть усовершенствованного гидравлического гасителя колебаний: 1 – нижняя ограничительная шайба; 2, 5 – пружины; 3 – кольцо подпоршневое; 4 – втулка поршня; 6 – верхняя ограничительная шайба; 7 – втулка с дроссельным отверстием; 8 – шарик; 9 – клапанная полость; 10 – дроссельный перепускной канал поршня; 11 – поршень; 12 – пластинчатый клапан; 13 – упор клапана; 14 – дроссельные каналы

Разработанная конструкция гидрогасителя способна работать в трех режимах: дроссельном, клапанном и виброзащищенном. Клапанный и дроссельный режимы работы не отличаются от таковых у гидрогасителей стандартной конструкции. При виброзащищенном режиме работы происходит гашение высокочастотных колебаний с различной амплитудой.

Применение упругой связи между поршнем и штоком, обеспечиваемой пружинами, позволит снизить ударные воздействия, возникающие в ходе движения подвижного состава, что положительным образом скажется на уровне напряжений как в штоке, так и в проушинах, а также в кронштейнах крепления гидрогасителей. Последнее весьма актуально для пассажирских вагонов, использующих в качестве ходовой части тележки моделей ТВЗ (КВЗ) – ЦНИИ, так как изломы и трещины кронштейнов крепления гидрогасителей занимают до четверти от общего количества неисправностей рам данных тележек [11–15].

Другим преимуществом предлагаемой конструкции гидравлического гасителя колебаний является возможность модернизации уже существующих гидрогасителей, так как в данном случае необходимо будет усовершенствовать лишь поршневую часть.

К настоящему моменту изготовлен опытный образец и ведется работа к проведению его испытаний.

Таким образом, работоспособность гидравлических гасителей колебаний оказывает значительное влияние на ходовые качества подвижного состава и безопасность движения, поэтому повышение их надежности является важной задачей.

Статья подготовлена за счет государственного задания № 1024032700167-7 «Цифровой двойник подвижного состава и объектов транспортной инфраструктуры».

Библиографический список

1. Механическая часть тягового подвижного состава : учебник / под редакцией И. В. Бирюкова. – Москва : Транспорт, 1992. – 440 с. ; Репринт. воспроиз. – Москва : Альянс, 2013. – 440 с. – Текст : непосредственный.

2. Соколов, М. М. Гасители колебаний подвижного состава : справочник / М. М. Соколов, В. И. Варава, Г. М. Левит. – Москва : Транспорт, 1985. – 216 с. – Текст : непосредственный.

3. Челноков, И. И. Гидравлические гасители колебаний пассажирских вагонов / И. И. Челноков. – Москва : Транспорт, 1975. – 72 с. – Текст : непосредственный.

4. Краткий обзор применения гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта и анализ их достоинств и недостатков / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, В. А. Кручек, П. Ю. Иванов. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2025. – № 1 (85). – С. 34–45. – DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).34-45.

5. Холдинг СТМ презентовал опытный образец скоростной фитинговой платформы // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2021. – № 3 (67). – С. 36-37. – Текст : непосредственный.

6. Валинский, О. С. Перспективы высокоскоростных контейнерных перевозок на базе электропоезда «Финист» (ЭС104/ЭС105) / О. С. Валинский, А. Н. Марикин, Д. А. Складенко. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2025. – Т. 22. – № 2. – С. 281–289. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-2-281-289.

7. Анализ применения гидравлических гасителей колебаний в конструкциях рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, В. А. Кручек, П. Ю. Иванов. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21. – № 3. – С. 598–608. – DOI 10.20295/1815-588X-2024-03-598-608.

8. Анализ причин неисправностей гидравлических гасителей колебаний подвижного состава железнодорожного транспорта и возможные пути совершенствования их конструкции / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов [и др.] – Текст : непосредственный // Транспорт : наука, техника, управление : научный информационный сборник. – 2025. – № 5. – С. 21–31. – DOI 10.36535/0236-1914-2025-05-3.

9. Савоськин, А. Н. Применение упругозащищенного гидравлического гасителя колебаний в рессорном подвешивании локомотивов / А. Н. Савоськин, Н. С. Лавлинская, П. Ю. Иванов. – Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – Т. 81. – № 2. – С. 134–147. – DOI 10.21780/2223-9731-2022-81-2-134-147.

10. Патент на полезную модель № 221859 U1 Российская Федерация, МПК F16F 5/00, F16F 9/16. Устройство гашения колебаний с переменной характеристикой : № 2023119091 : заявл. 18.07.2023 : опубл. 28.11.2023 / П. Ю. Иванов, Е. Ю. Дульский, Е. А. Милованова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения. – Текст : непосредственный.

11. Обзор и классификация методов борьбы с подкожуховым льдообразованием в гидравлических гасителях колебаний подвижного состава / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, В. А. Кручек, П. Ю. Иванов. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21. – № 4. – С. 825–834. – DOI 10.20295/1815-588X-2024-04-825-834.

12. Martynenko, L. V. Peculiarities of the Influence of hydraulic vibration damper failures upon the dynamics of a passenger car / L. V. Martynenko. – Текст : непосредственный // E3S Web of Conferences, St. Petersburg, 19–21 сентября 2023 года. Vol. 460. – St. Petersburg : EDP Sciences , 2023. – P. 06023. – DOI 10.1051/e3sconf/202346006023.

13. Ермоленко, И. Ю. Анализ появления трещин на раме тележек пассажирских вагонов при их эксплуатации по горно-рельефному перевалу ВСЖД / И. Ю. Ермоленко, В. Н. Железняк, А. В. Марков. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Т. 2. – С. 529–531.

14. Исследование напряженно-деформированного состояния узлов крепления гидравлических гасителей колебаний центральной ступени рессорного подвешивания пассажирских вагонов / С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, В. А. Кручек, П. Ю. Иванов. – Текст : непосредственный // Наука и образование: достижения и перспективы : материалы IX Международной научно-практической конференции, Саратов, 19 декабря 2024 года. – Самара – Саратов : ООО «Амирит», Приволжский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 96–105.

15. Мартыненко, Л. В. Применение программного комплекса Femap при комплексной оценке влияния неисправностей гидравлического гасителя колебаний на раму пассажирской тележки КВЗ-ЦНИИ / Л. В. Мартыненко, Д. П. Кононов. – Текст : непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – 2025. – № 3. – С. 21–28. – DOI 10.20295/2223-9987-2025-3-21-28.

В. В. Тюньков, В. А. Зубаков

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В УЗЛАХ И ДЕТАЛЯХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Актуальность обеспечения функциональной безопасности на железнодорожном транспорте рассматривается в статье через посредство новых конструктивных решений узлов и деталей, отражающих внутреннюю кинематику грузовых вагонов в общей системе взаимодействия поезда с верхним строением пути (локальная позиция: колесо-рельс). Приводятся условия формирования критической зоны аварийной ситуации и возможности превентивных действий без нарушения эффективного взаимодействия всех узлов и деталей возникающих силовых цепочек как в обрессоренной, так и необрессоренной части грузового вагона. Подтверждаются многочисленные исследования, концентрирующиеся на сходе вагона с рельса. При этом рассматривается устойчивость колеса против схода с рельса для сочетания элементов поперечной силы, формирующейся при проходе поездом кривых малого радиуса. Полученный результат поставленной задачи допускает инвариантность с полным учётом действующих базовых технических норм

Ключевые слова: принцип, функциональная безопасность, грузовые вагоны, конструктивные решения, боковое воздействие.

Функциональная безопасность – принцип, соответствующий выбранному решению поставленной задаче для узлов и деталей грузовых вагонов в пределах общей проблемы обеспечения безопасности железнодорожного транспорта. То есть задача, которая должна быть выполнена рационально в условиях ограничения необходимых затрат.

На работу узла (детали) оказывают дестабилизирующее влияние эксплуатационные нагрузки и воздействия, которым противопоставляется конструктивное совершенствование и система эффективного взаимодействия с сопредельными устройствами (верхнее строение пути), техобслуживания и ремонта. Для этого требуется выбор конструктивного решения, совершенный технологический процесс изготовления с использованием современных материалов и оборудования, также технический ресурс узла, позволяющий обеспечить продолжительную эксплуатацию без выхода в предельно допустимое состояние, в т. ч. аварийное.

В практике железнодорожного транспорта аварийные ситуации возникают, когда несколько факторов взаимодействующих устройств в результате износов, сборочных узлов подвижного состава близких к предельным, совпадают при наличии сложных условий, например на кривых малого радиуса горно-перевальных участков (рис. 1).

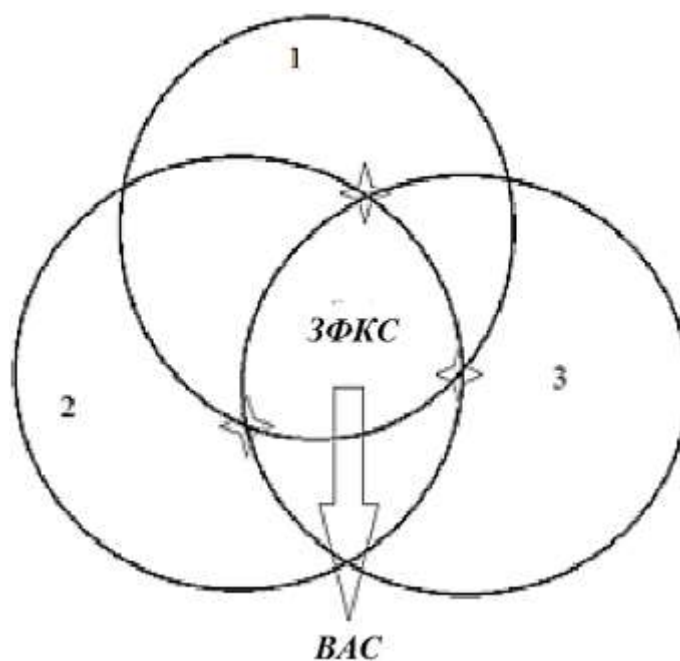


Рис. 1. Схема формирования критической зоны аварийной ситуации при суммировании предельных состояний сопротивления внешним воздействиям: 1 – конструктивное несовершенство, 2 – предельные износы контактирующих поверхностей, 3 – воздействия на узлы и детали при проходе кривых. Здесь **ЗФКС** – зона формирования критической ситуации, **ВАС** – вероятность аварийной ситуации

Целесообразность критериев оптимальности обеспечения функциональной безопасности предусматривает, в частности: стандартизацию допустимой для заданной функции прочности узла (материала), актуальной жесткости, рациональной оптимизации ресурса и других характеристик, особенно, если их повышение сопряжено с увеличением массы, удорожанием изготовления и эксплуатации устройства. Актуально выполнение конструкций прецизионными технологиями в отличие от прежних, когда это влияет на работоспособность узлов и деталей, участвующих в составе внутренней кинематики вагона. Особенно важно обеспечение приемлемого качества трущихся, посадочных, а также других регламентируемых свойств, характерных для критериев безопасной эксплуатации (рис. 2).

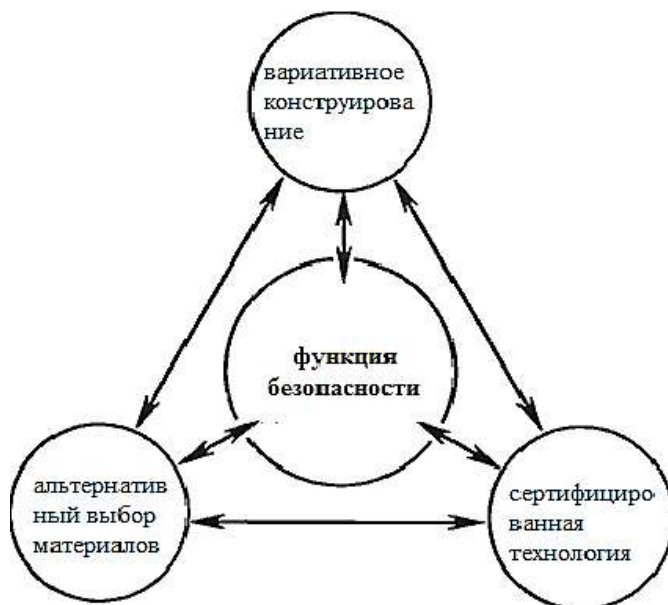


Рис. 2. Схема условных групп индикаторов, обеспечивающих регламентированный уровень безопасности в условиях интенсивной эксплуатации узлов (деталей) грузового вагона

Этим по существу не ограничивается функциональная безопасность. Она воплощает в себе системно все несущие узлы и сочленения внутренней кинематики грузовых вагонов, так или иначе участвующие в процессе передачи силовых воздействий и находящихся в прямом и косвенном контакте, т. е. в накоплении износа и дефектов, снижающих надёжность (ресурс) системы в целом [9]. Таким образом, и все производные принципы существуют для того, чтобы наилучшим образом решить директивную функциональную задачу. Поэтому не совсем правильно ограничиваться одним решением – выбор схем и конструкций должен быть на альтернативной основе, особенно на долгосрочную перспективу [1, 2].

При установлении экстремальных нагрузок и воздействий, приводящих к вероятному сходу тележки вагона с рельса, исследуем техническую систему, которая рассчитана на регламентированный уровень воздействий без выхода за нормированное критическое состояние. эксплуатационные воздействия на узлы и детали грузового вагона, отражаются в сочленении автосцепки (рис. 3).

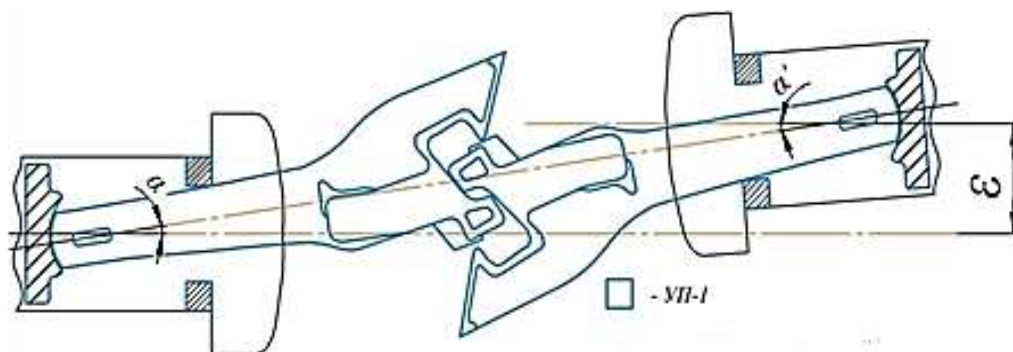


Рис. 3. Схема возникновения силового бокового воздействия на выходе из кривой. Здесь ε – величина смещения осей вагонов

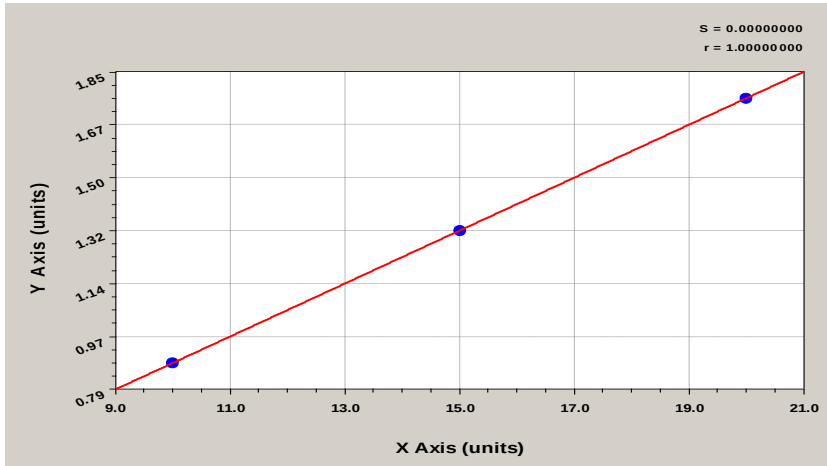
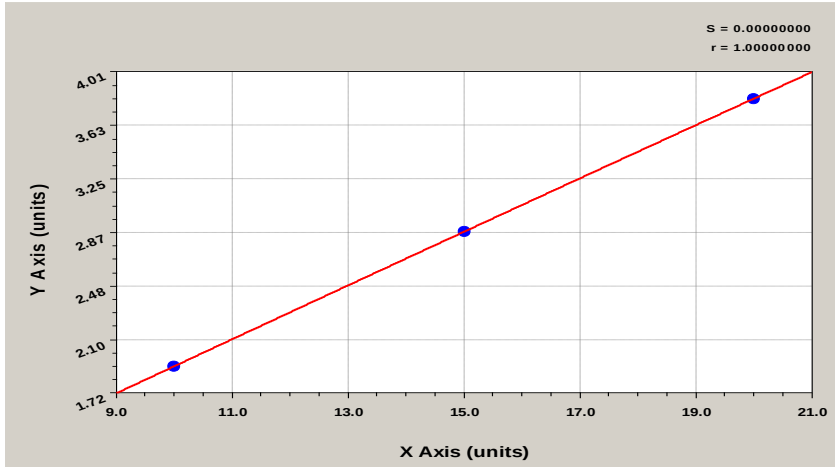
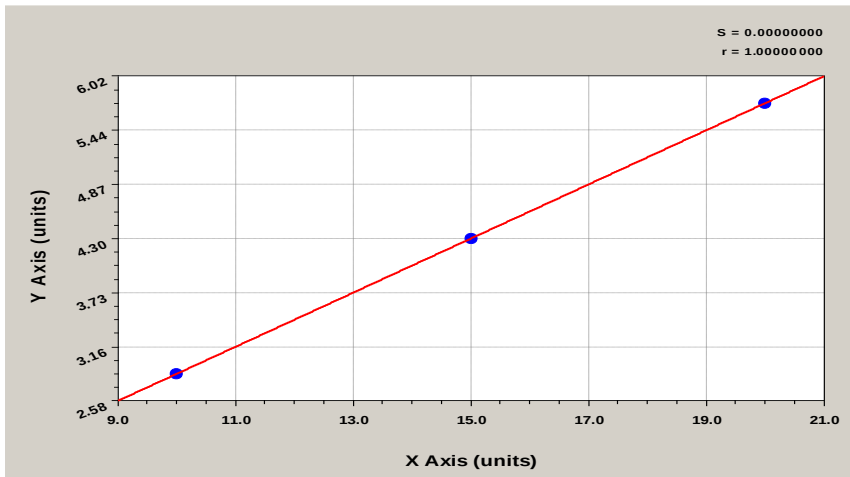
На Восточном железнодорожном полигоне РФ выполнено значительное количество кривых малого радиуса, и поэтому при необходимости в интенсификации грузоперевозок необходимы меры поддержания достигнутого уровня безопасности. Естественно, чем меньше радиус и больше база вагона, тем критичнее воздействие, особенно для длинно-базовых платформ при перевозке многотонных контейнеров (Таблица).

Таблица

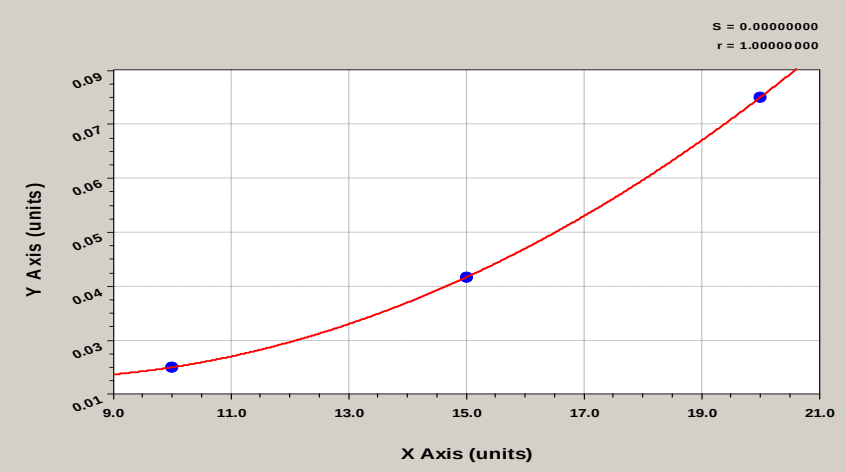
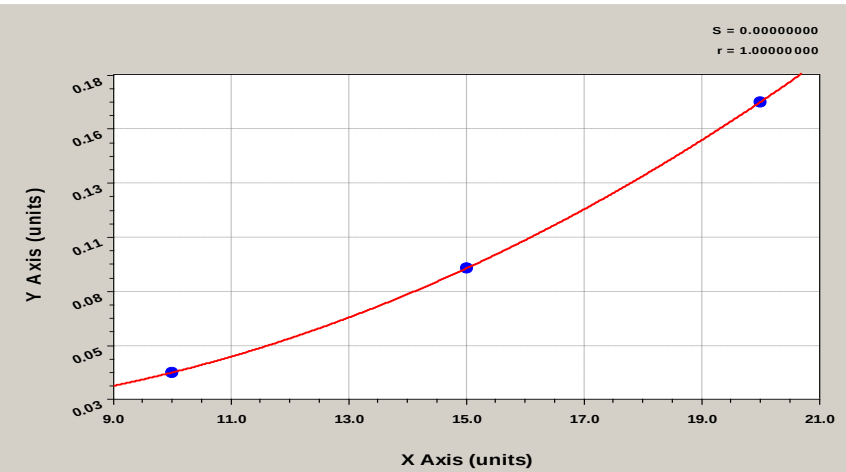
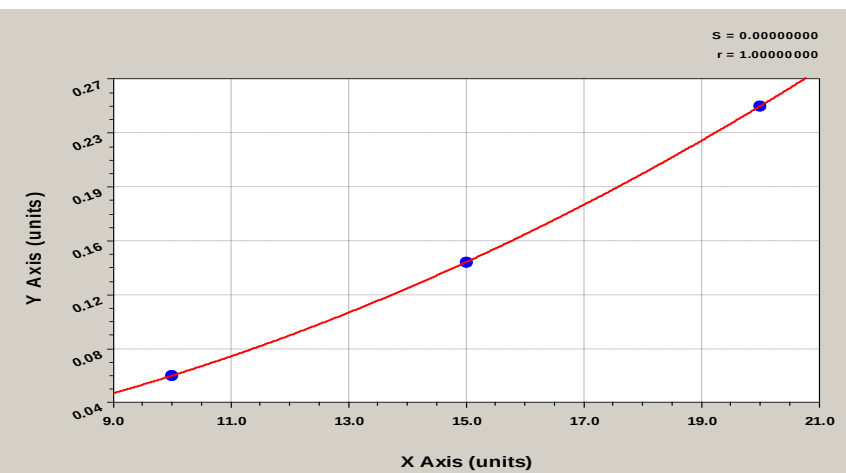
Цифровизация процесса прохода грузовым вагоном кривых радиусом менее 650 метров (Геометрические параметры)

№	Графическое отображение процесса	Пояснение
1	2	3
1	$h = R \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$	L – длина дуги сегмента c – хорда (база вагона) R – радиус α – угол сегмента h – высота (вынос центра вагона)

Продолжение Таблицы

1	2	3
2		Угол (град.), формирующий отклонение осей вагонов (автосцепки) при радиусе кривой 650 м. (Изменение базы вагона от 10 до 20 м)
3		Угол (град.), формирующий отклонение осей вагонов (автосцепки) при радиусе кривой 300 м. (Изменение базы вагона от 10 до 20 м)
4		Угол (град.), формирующий отклонение осей вагонов (автосцепки) при радиусе кривой 200 м. (Изменение базы вагона от 10 до 20 м)

Окончание Таблицы

1	2	3
5	 Y Axis (units) X Axis (units) $S = 0.00000000$ $r = 1.00000000$	Вынос центра грузового вагона при радиусе кривой 650 м. (Изменение базы вагона от 10 до 20 м)
6	 Y Axis (units) X Axis (units) $S = 0.00000000$ $r = 1.00000000$	Вынос центра грузового вагона при радиусе кривой 300 м. (Изменение базы вагона от 10 до 20 м)
7	 Y Axis (units) X Axis (units) $S = 0.00000000$ $r = 1.00000000$	Вынос центра грузового вагона при радиусе кривой 200 м. (Изменение базы вагона от 10 до 20 м)

Боковое воздействие от автосцепки через цепочку деталей передаётся на хребтовую балку, и тележку и через буксовый узел на контакт колесо – рельс (рис. 4).



Рис. 4. Схема системы внешних силовых и вибрационных воздействий на узлы и детали грузового вагона, движущегося в составе поезда

Таким образом, продольные оси грузовых вагонов (при проходе кривой) находятся здесь под углом друг другу, который на кривой малого радиуса не компенсируется горизонтальным движением корпуса автосцепки и поглощающего аппарата, при условии не размыкания, а воздействует на ударную розетку упорной плиты, передаётся через шкворневое соединение пятника на тележку и далее на рельс (рис. 3, рис. 4). Величина возникающей реакции контактного воздействия зависит от его уровня и направления. при проходе кривых и с определённым сочетанием параметров узла достигает боковой силы близкой к критической, т. е. фактором, приводящим, например, к сходу вагона с рельса. Например, возможен вариант – способ эксцентрикового сочленения хребтовой балки кузова (сопряжение пятник – надпятник) с тележкой грузового вагона шкворнем-адаптером [4], который компенсирует избыточный поворот горизонтальной оси рамы от центра вертикальной оси надрессорной балки в пределах её регламентированного исходного габарита. Особо отметим, что для используемых в настоящее время конструктивных решениях «перемещение в горизонтальной плоскости может быть только за счёт нерегулируемых зазоров, износа или изгиба» деталей в узлах силовых кинематических цепочек грузовых вагонов.

Проводимые исследования подтверждают необходимость решения актуальной проблемы, в т. ч. конструктивной, стабилизации процесса набегания колеса на рельс при возникновении существенной вероятности схода вагона с рельса [2, 5]. В настоящее время известны конкретные разработки адаптивной конструкции как тележек в целом, так и отдель-

ных её элементов [4, 6, 7]. Кроме того, определённый ресурс для этого представляет внедрение новых технологических процессов, имеющих прецизионную основу [8], когда наряду с повышенной работоспособностью увеличивается и уровень функциональной безопасности.

Заключение. В рамках концептуального моделирования кинематической структуры грузового вагона приходим к выводу, что при заданном критерии оптимальности (функциональная безопасность) общей проблемы – «безопасного движения грузовых вагонов по горно – перевальным участкам в кривых малого радиуса» предложены варианты конструктивных решений в пределах внутренней кинематики вагона узлов и деталей, реализующих улучшенную адаптацию грузового вагона к верхнему строению пути (на контакте колесо – рельс), а также внешним боковым воздействиям, возникающим от поворота автосцепки сопредельных вагонов. Результат потенциально реализуем для грузовых вагонов и для другого подвижного состава, использующего автосцепку типа СА-3.

Библиографический список

1. Технология производства и ремонта вагонов : учебник для вузов железнодорожного транспорта / К. В. Мотовилов, В. С. Лукашук, В. Ф. Криворудченко, А. А. Петров ; под редакцией К. В. Мотовилова. – Москва : Маршрут, 2003. – С. 219–246. – Текст : непосредственный.
2. Агафонов, М. С. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт в 1 квартале 2024 г. / М. С. Агафонов. – Текст : непосредственный // Вагоны и вагонное хозяйство : журнал. – 2024. – № 2 (78).
3. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм РД ВНИИЖТ 27.05.01. – 2017. – Текст : непосредственный.
4. Патент RU 2 722 047 C1 МПК B61F 5/18 (2006.01). Узел соединения кузова грузового вагона с тележкой. – Текст : непосредственный.
5. Смольянинов, А. В. Сравнительный анализ методик расчёта устойчивости колёсной пары от схода с рельсов / А. В. Смольянинов, А. Р. Якупов. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2017. – № 1. – С. 48–54. – DOI: 10.20291/1815-9400-2016-2-48-54.
6. Патент RU № 2379189 C2 от 20.01.10. Четырёхбуксовая колёсная пара с осевой стабилизацией для железнодорожного подвижного состава. – Текст : непосредственный.
7. Патент RU 2010103237 А от 10.08.11. Тележка грузового вагона. – Текст : непосредственный.

8. Тюньков, В. В. Фактор технологической прецизионности в алгоритме конструктивной эволюции буксового узла грузовых вагонов / В. В. Тюньков, Ю. В. Воронова, Л. В. Мартыненко, Б. Солонго. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование : журнал. – 2023. – № 4 (80). – С. 39–53.

9. Мещерин, Ю. В. Особенности взаимодействия конических двухрядных роlikоподшипников кассетного типа с адаптерами тележек / Ю. В. Мещерин. – Текст : непосредственный // Вагоны и вагонное хозяйство : журнал. – 2024. – № 2 (78).

А. Н. Хохряков

*Ижевский техникум железнодорожного транспорта –
филиал ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет
путей сообщения»,
г. Ижевск, Россия*

НЕОБХОДИМОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНЫХ ПОЛИГОНОВ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКОВ СЦБ

В статье автор рассматривает эффективность проведения практических занятий по специальности 27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте (железнодорожном транспорте), исследует преимущества и риски, связанные с закреплением практических профессиональных навыков обучающихся, а также приводит примеры необходимости работы студентов в реальных условиях на учебном полигоне в сравнении с электромеханическими тренажёрами и тренажёрами в виртуальной реальности. Автором сделан вывод о значительном потенциале практических занятий на учебном полигоне.

Ключевые слова: электромеханики, учебный полигон, организация работы на учебном полигоне, трудности организационного процесса.

Умения и навыки нахождения причин отказов и выявления вышедших из строя элементов железнодорожной автоматики являются важнейшими аспектами в обучении электромехаников службы Ш. Неотъемлемыми составляющими учебного процесса является как получение теоретических знаний, так и их закрепление на практике посредством работы с реальным электрооборудованием или его имитацией. На текущий момент существует три способа практического закрепления навыков обучающихся электромехаников:

- 1) электромеханические тренажёры;
- 2) тренажёры в виртуальной реальности;
- 3) учебные полигоны.

Существующие электромеханические тренажёры по поиску неисправностей, когда неисправность задаётся преподавателем поворотом ключа, имитируют только стандартные ситуации в ограниченном количестве, тем самым создавая предпосылки к шаблонному поиску и устранению неполадок у студента. Такие тренажёры очень хороши при объяснении принципа действия железнодорожной автоматики, где включение ключа показывает последствия той или иной неполадки, но реальной специфики работы не отражают. Во-первых, никак не охватывается взаимодействие с другими службами железной дороги. Во-вторых, шаблонность поиска и устранения неисправностей ограничивает возможность к комплексному и творческому мышлению обучающегося. В-третьих, такие тренажёры никак не учитывают оперативную и поездную обстановку на обслуживаемом участке железной дороги.

Тренажёры в виртуальной реальности могут предложить больший диапазон возможных ошибок, менее требовательны к разнообразию материально-технической базы, но ещё более отдалены от реальных условий поиска и устранения неисправностей. Зачастую в таких тренажёрах для устранения запрограммированной неисправности нужно выполнить ряд действий в определённом порядке, однако не учитывается возможность устранения неполадки любым другим способом. Также на таких тренажёрах студенты не получают навыков непосредственной работы с измерительными приборами, электрооборудованием и его составляющими.

В свою очередь, учебный полигон позволяет в более полной мере отработать на практике лекционный материал, хотя так же, как и тренажёры, в достаточной мере безопасен для студентов. Сформированные цели выполнения определённых задач на учебном полигоне позволяют достичь необходимых профессиональных навыков и умений. Например, сформировать умение систематизировать полученные знания и практические умения по дисциплине, осуществлять поиск, обобщать, анализировать необходимую информацию; принимать необходимое решение; разрабатывать действия для решения поставленных задач, а также рассчитывать эффективность использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Также работа на учебном полигоне позволяет сформировать такие профессиональные компетенции как, например, ПК 1.1 Анализировать работу станционных, перегонных, микропроцессорных и диагностических систем автоматики по принципиальным схе-

мам; ПК 1.2 Определять и устранять отказы в работе станционных, перегонных, микропроцессорных и диагностических систем автоматики; ПК 1.3 Выполнять требования по эксплуатации станционных, перегонных, микропроцессорных и диагностических систем автоматики; ПК 2.1 Обеспечивать техническое обслуживание устройств СЦБ и систем ЖАТ; ПК 2.2 Выполнять работы по техническому обслуживанию линий железнодорожной автоматики; ПК 2.4 Организовывать работу по обслуживанию, монтажу и наладке систем железнодорожной автоматики; ПК 2.6 Выполнять требования технической эксплуатации железных дорог и безопасности движения; ПК 2.7 Составлять и анализировать монтажные схемы устройств СЦБ и ЖАТ по принципиальным схемам; ПК 3.1 Производить разборку, сборку и регулировку приборов и устройств СЦБ; ПК 3.2 Измерять и анализировать параметры приборов и устройств СЦБ и ПК 3.3 Регулировать и проверять работу устройств и приборов СЦБ.

Также во время проведения практических занятий на учебном полигоне формируются общие компетенции по специальности, такие как: ОК 1 Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес; ОК 6 Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями; ОК 7 Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчинённых) на результат выполнения заданий; ОК 9 Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

На полигоне обучающиеся напрямую сталкиваются с полевым оборудованием и получают практические навыки работы с ним в различных условиях окружающей среды (повышенная влажность, снег, недостаточное освещение и т. д.) Также на полигоне можно подготавливать целый комплекс неисправностей. В его условиях группы студентов из разных направлений (ШЧ, ПЧ и т. д.) могут осуществлять взаимодействие друг с другом, имитируя работу на реальном участке дороги:

- проводить согласование с ДСП о начале работ по обслуживанию устройств;
- отрабатывать действия при приближении подвижного состава;
- проверять устранение нештатной работы устройств совместно с ДСП и др.

Более того, в условиях изменчивых климатических условий и повышенного износа оборудования на полигоне могут появляться незапланированные неисправности, которые сложно искусственно симитировать, что, в свою очередь, обогащает опыт студентов и заставляет их мыслить творчески.

Работа с реальным оборудованием в условиях полигона имеет ещё и эффект неожиданности, когда при устранении одной неполадки студент может внести другую. Также из-за сложной системы зависимостей электрооборудования учебного полигона возможны варианты, когда выход из строя прибора является следствием неисправности в совершенно другом месте, вследствие чего замена вышедшего из строя прибора не даст положительного результата или отказ повторится через некоторое время (например, электродвигатель стрелочного привода может не запускаться из-за уменьшения ёмкости электролитического конденсатора в блоке БКР-76).

Однако осуществление обучающего процесса на учебном полигоне сопряжено со многими трудностями:

- повышенная нагрузка на преподавательский состав из-за необходимости подготовки комплексных неисправностей на полигоне, а также из-за большей сложности контроля действий обучающихся, чем в аудитории;
- большие материальные затраты на поддержание работоспособности полигона;
- вследствие предыдущего пункта, применение, как правило, устаревших образцов оборудования на полигоне.

В связи с вышесказанным, можно сделать вывод, что студенты на учебном полигоне, в условиях, приближенных к полевым, имеют большую возможность для применения полученных теоретических знаний в области поиска и устранения неисправностей, а также обеспечения безопасности движения и проведения работ, учатся мыслить комплексно и нешаблонно, что повышает их профессиональные навыки и в дальнейшем уменьшает срок вливания в рабочий процесс. Следовательно, несмотря на сложность эксплуатации учебных полигонов, их необходимо внедрять и поддерживать в учебных заведениях, а также оснащать современными средствами автоматизированного контроля за состоянием устройств.

Библиографический список

1. Виноградова, В. Ю. Перегонные системы автоматики : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / В. А. Воронин, Е. А. Казаков, Д. В. Швалов, Е. Е. Шухина ; под редакцией В. Ю. Виноградовой. – Москва : Маршрут, 2005. – Текст : непосредственный.
2. Методические материалы по курсу «Устройство, эксплуатация и техническое обслуживание систем автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты». – Центр обучения отделения «Автоматики

и АЛС», ГУП ВНИИАС МПС России, Москва, 2002. – Текст : непосредственный.

3. Сырый, А. А. Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся по профессиональному модулю ПМ 01 Построение и эксплуатация станционных, перегонных, микропроцессорных и диагностических систем железнодорожной автоматики по специальности 27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте (железнодорожном транспорте) / А. А. Сырый. – Росжелдор, ТТЖТ – филиал РГУПС, Тихорецк, 2015. – Текст : непосредственный.

4. Хохряков, А. Н. Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине ПМ 01 Построение и эксплуатация станционных, перегонных, микропроцессорных и диагностических систем железнодорожной автоматики в соответствии с МДК 01.02 Теоретические основы построения и эксплуатации перегонных систем железнодорожной автоматики на специальности 27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте (железнодорожном транспорте) / А. Н. Хохряков. – ИТЖТ – филиал ПривГУПС, Ижевск, 2024. – Текст : непосредственный.

Р. И. Чернин

*Белорусский государственный университет транспорта,
г. Гомель, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗВИЛИСТОГО ДВИЖЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА КОНТАКТНОЕ ДАВЛЕНИЕ В СОЕДИНЕНИИ СТУПИЦЫ КОЛЕСА С ПОДСТУПИЧНОЙ ЧАСТЬЮ ОСИ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ

Надёжность колёсных пар грузовых и пассажирских вагонов в эксплуатации во многом определяется прочностью прессовой посадки колёс на ось, согласно действующему ГОСТ, вероятность безотказной работы должна быть 100 % в течение всего срока службы, однако случаи сдвига колёс с оси в эксплуатации отмечаются. Поэтому исследования факторов и оценка степени их влияния на прочность напрессовки колеса на ось в эксплуатации представляет собой важную научно-техническую задачу. В статье приведены результаты исследования влияния на прочность соединения с гарантированным натягом «ступицы цельнокатаного колеса с подступичной частью оси» извилистого движения колёсной пары по рельсовой колее и температуры.

Ключевые слова: колёсная пара, соединения с гарантированным натягом, напряжённо-деформированное состояние, контактное давление, извилистое движение, температура.

Из соединений с гарантированным натягом используемых в конструкции грузовых и пассажирских колёсных пар можно выделить тепловую напрессовку внутренних колец буксовых подшипников и лабиринтных колец, а также механическую напрессовку цельнокатаных колёс.

Несмотря на то что в целом к подвижному составу (грузовому и пассажирскому) и в частности к его колёсным парам в эксплуатации предъявляются высокие требования по надёжности и безопасности, однако в практике встречаются и указаны в нормативной документации по ремонту, как опасные, повреждения колёсных пар вызванные недостаточной прочностью их прессовых соединений – провороты переднего или заднего внутреннего колец буксовых подшипников, вызывающие разрушение буксовых узлов и изломы шеек осей, а также сдвиги ступиц колёс.

Для решения проблемы получаемой недостаточной прочности прессовых соединений в эксплуатации с целью обеспечения требуемого уровня безопасности движения поездов, необходимо более глубокое понимание происходящих процессов, степень воздействия на получаемую прочность при изготовлении и ремонте эксплуатационных факторов различной природы.

Проведённые исследования позволили оценить изменение прочности следующих прессовых соединений под воздействием факторов различной природы (эксплуатационных и технологических):

- «соединение внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колёсной пары» [1–5];
- «соединение лабиринтного кольца с предподступичной частью оси» [6].

Для оценки влияния факторов «извилистое движение» и «температура» на прочность напрессовки цельнокатаного колеса использовалась разработанная ранее модель колёсной пары в сборе, позволяющая учитывать несимметричное приложение нагрузок, а также влияния факторов «макрогеометрия сопрягаемых поверхностей», «нагрузка» и «скорость движения» [7].

Числовые характеристики извилистого движения колёсной пары (частота (λ), период (T) и длина волны (L)), а также рамная сила, определялись так же, как и в работе [4].

Исследование разработанной модели проводилось при изменении величины натягов, скорости и нагрузке на ось аналогично используемых в работе [6].

На рис. 1 представлены результаты расчёта модели при максимальной нагрузке на ось, скорости движения – 100 км/ч для натягов 0,10 мм и 0,25 мм при извилистом движении колёсной пары и рамной силой.

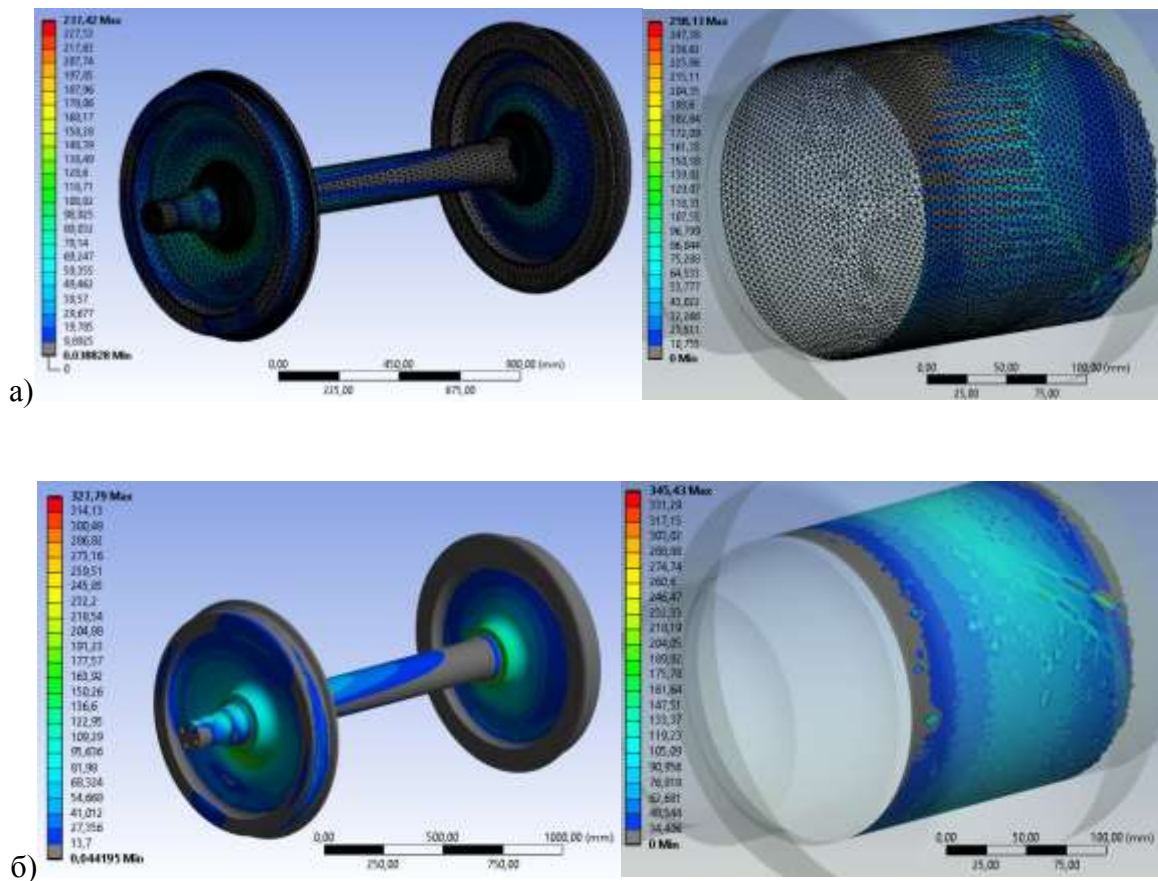


Рис. 1. Результаты расчёта разработанной модели колёсной пары: а – эквивалентные напряжения и контактное давление при натяге 0,10 мм; б – эквивалентные напряжения и контактное давление при натяге 0,25 мм

Проведя серию расчётов и проанализировав полученные данные с учётом результатов, приведённых в работе [7] получена зависимость изменения контактного давления (Δp_k) в зоне сопряжения ступицы колеса и подступичной части оси от скорости движения колёсной пары с учётом её извилистого движения, или иными словами – определено влияние фактора «извилистое движение колёсной пары» на прочность напрессовки колеса на ось в эксплуатации (см. рис. 2).

Как видно из рис. 2, увеличение скорости движения колёсной пары при извилистом характере её движения по колее вызывает увеличение контактного давления в рассматриваемом соединении, причём Δp_k в рассматриваемом диапазоне скоростей достигает 2,5 МПа.

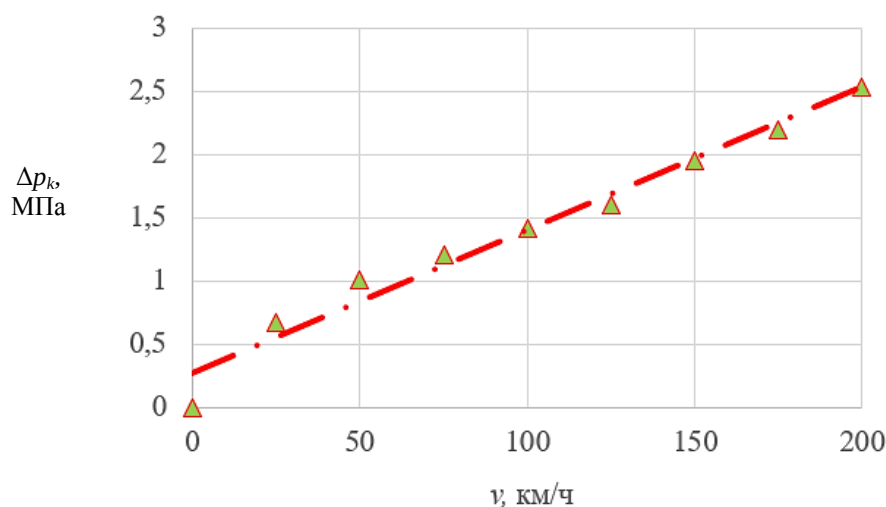


Рис. 2. Влияние извилистого движения колёсной пары на контактное давление в зоне сопряжения, ($\Delta p_k = 0,0113v + 0,2634$, $R^2 = 0,9729$)

В соответствии с ГОСТ 4835 «Колёсные пары должны быть изготовлены в климатическом исполнении УХЛ по ГОСТ 15150», что предполагает изменение температуры в диапазоне $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, однако исследование влияния температурного фактора на прочность напрессовки колеса на подступичную часть оси выполнено согласно методике описанной [5].

Результаты проведенных расчетов для выбранного диапазона температур при скоростях от 0 до 200 км/ч и для натягов 0,10 и 0,25 мм с учётом извилистого движения позволили получить влияние фактора «температура» на контактное давления в прессовом соединении колеса с осью (рис. 3).

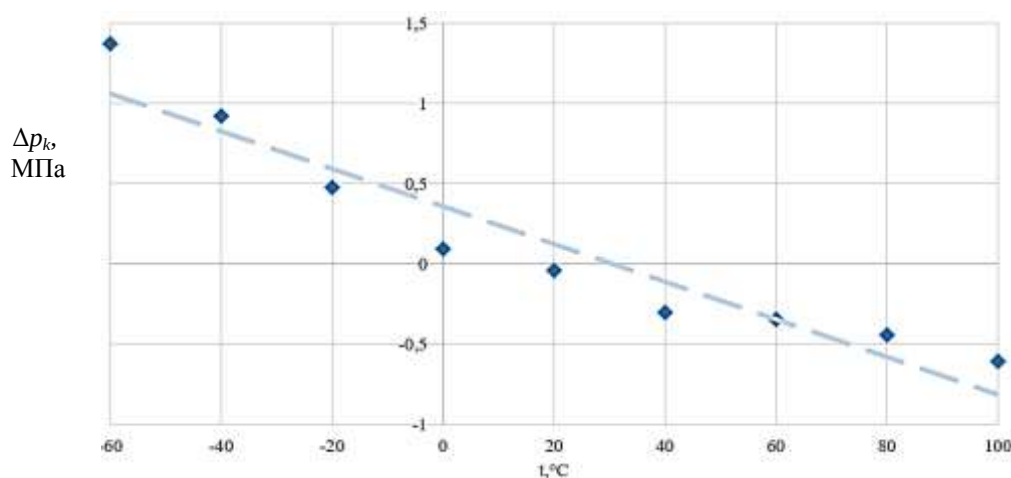


Рис. 3. Изменение контактного давления в прессовом соединении колеса с осью от температуры ($\Delta p_k = -0,0117t + 0,3595$, $R^2 = 0,9125$)

Как видно на рис. 3, увеличение температуры вызывает снижение контактного давления в зоне сопряжения, которое достигает величины 0,5 МПа, а как следствие из этого происходит снижение прочности напрессовки колеса на ось.

По результатам проведённых теоретических исследований на разработанной модели прессового соединения цельнокатаного колеса с подступичной частью оси колёсной пары получены зависимости изменения эквивалентных напряжений и контактного давления в зоне сопряжения от воздействия факторов «извилистое движение» и «температура».

Библиографический список

1. Чернин, Р. И. Оценка взаимного влияния величин натягов двух смежно напрессованных внутренних колец буксовых подшипников на прочность сопряжения / Р. И. Чернин, А. В. Путято, Р. В. Рахимов. – Текст : непосредственный // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы : материалы Третьей международной научно-технической конференции (Ташкент, 17–20 апреля 2024 г.). – Ташкент : ТГТУ, 2024. – С. 456–466.

2. Чернин, Р. И. Оценка влияния загрузки вагона на величину напряжённо-деформированного состояния внутренних колец буксовых подшипников, напрессованных на шейку оси колёсной пары / Р. И. Чернин, О. М. Моисейчикова. – Текст : непосредственный // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII международной научно-практической конференции, посвящённой Году качества (Гомель, 21–22 ноября 2024 г.) : [в 2 частях]. Часть 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога, Белорусский государственный университет транспорта ; под общей редакцией Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 173–175.

3. Чернин, Р. И. Оценка влияния скорости движения на прочность соединения внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колёсной пары / Р. И. Чернин. – Текст : непосредственный // Современные проблемы машиноведения : сборник научных трудов : [в 2 частях]. Часть 1 / Министерство образования Республики Беларусь, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, ПАО «ОАК» ОКБ Сухого ; под общей редакцией А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 110–113.

4. Чернин, Р. И. Оценка влияния извилистого движения колёсной пары на напряжённо-деформированное состояние внутренних колец буксовых подшипников, напрессованных на шейку оси / Р. И. Чернин. – Текст : непосредственный // Образование – Наука – Производство : ма-

териалы VIII всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, 22 ноября 2024 г. – Чита : ЗабИЖТ ИрГУПС, 2024. – С. 144–149.

5. Чернин, Р. И. Оценка влияния нагрева буксового узла на прочность прессовых соединений внутренних колец подшипников с осью колёсной пары вагона / Р. И. Чернин, А. В. Путято. – Текст : непосредственный // Машиностроение : Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Выпуск 36. – С. 216–223.

6. Чернин, Р. И. Оценка влияния эксплуатационных факторов на прочность тепловой напрессовки лабиринтного кольца буксового узла на предподступичную часть оси колёсной пары / Р. И. Чернин, Д. В. Шкороедов. – Текст : непосредственный // Наука и транспорт. Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2024. – № 2 (49). – С. 52–55.

7. Чернин, Р. И. Компьютерное моделирование прочности прессового соединения цельнокатаного колеса с осью колёсной пары вагона с учётом отклонений макрогеометрии сопрягаемых поверхностей и скорости движения вагона / Р. И. Чернин, А. В. Путято. – Текст : непосредственный // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого : научно-практический журнал. – 2025. – № 3 (102). – С. 28–36.

М. А. Шрайбер

*Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

А. А. Кузьмин

*ЭЛД СПб-Варшавский Октябрьской дирекции тяги ОАО «РЖД»,
г. Санкт-Петербург, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ЛОКОМОТИВОВ

В статье производится оценка воздействия касательных напряжений на надёжность и долговечность материала изоляции. С целью дальнейшего изучения термомеханических напряжений предлагается конечно-элементная модель обмотки электрической машины локомотива. В качестве примера моделирования вычислены значения как касательных, так и нормальных напряжений в обмотке тягового электродвигателя

тепловоза. По результатам расчёта получено пороговое значение температуры, являющееся критически важным для оценки термодинамической устойчивости изоляционного материала в условиях эксплуатации.

Ключевые слова изоляция, обмотка, тяговый электродвигатель, термомеханические напряжения, касательные напряжения.

При исследовании касательных напряжений в изоляции обмоток электрических машин локомотивов вдоль оси паза предполагается, что три связанных между собой слоя, состоящих из медного проводника, материала изоляции и стального сердечника, имеют толщину ($h_m, h_{и}, h_c$), модули упругости ($E_m, E_{и}, E_c$) и коэффициенты теплового расширения ($\alpha_m, \alpha_{и}, \alpha_c$) соответственно. Значение теплового напряжения в слоях обмотки будет зависеть от двух факторов: от разницы коэффициентов теплового расширения между двумя связанными с ним слоями и от изменения температуры. Контрольной точкой для изменения температуры является температура, при которой материал не испытывает напряжения сжатия или растяжения. Термоиндуцированное напряжение в соединительном слое также усиливается, если увеличивается толщина или модуль упругости меди проводника и изоляции, либо уменьшается толщина самого соединительного слоя [1, 2].

В изоляции тяговых электрических машин, как в многослойном полимерном композитном материале, чаще всего термомеханические напряжения возникают из-за несоответствия коэффициентов теплового расширения стали (α_c), меди (α_m) и материала изоляции ($\alpha_{и}$) при изменении температуры обмотки (ΔT) (см. табл. 1), химической усадки пропиточного состава при его полимеризации и неравномерного отверждения, а также поглощения влаги.

Формально общее термомеханическое напряженное состояние изоляции ТЭД $\sigma_o(T)$ можно описать следующим уравнением:

$$\sigma_o(T) = \sigma_T(\Delta T) + \sigma_\alpha(\alpha) + \sigma_B(M), \quad (1)$$

где $\sigma_T(\Delta T)$ – составляющая напряжения от изменения температуры, Па;

$\sigma_\alpha(\alpha)$ – составляющая напряжения, вызванная изменением коэффициента теплового расширения, Па;

$\sigma_B(M)$ – составляющая напряжения, возникающая при полимеризации пропиточного состава и изменения количества поглощенной материалом изоляции влаги, Па;

α – коэффициент теплового расширения, $1/^\circ\text{C}$.

Таблица 1

**Коэффициенты теплового расширения изоляционных
и электротехнических материалов тяговых электродвигателей**

Материал	Коэффициент теплового расширения α , $(1/^\circ\text{C})10^{-6}$
Сталь электротехническая	12,0
Медь	16,6
Стекловолокно	30,4
Стекломиканит	22,4
Микалента	6,5
Лакоткань	24,4
Лента Элмикатерм	6,1
Лента Синтофлекс	6,8
Пропиточный лак ПЭ-933	7,0
Пропиточный лак МЛ-92	7,7
Эпоксидный компаунд «Элпласт-180 ИД»	55,0

Значения касательных напряжений, рассчитанные с помощью метода конечных элементов в программе SolidWorks при $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ приведены на рис. 1. Максимальные значения касательных напряжений равны $\tau_{ху\max} = 3,86 \text{ МПа}$ и располагаются на активной части обмотки, ближе к выходу из паза. Значения касательных напряжений будут постепенно уменьшаться к середине длины паза [3–6].

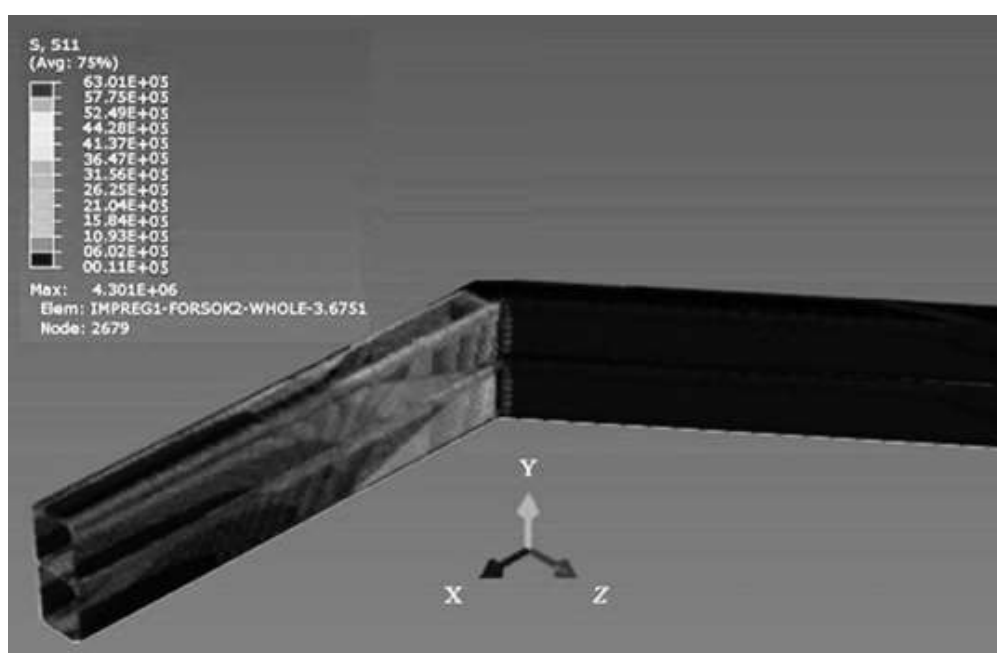


Рис. 1. Результаты моделирования касательных напряжений вдоль оси паза

Наблюдаемые критические области касательных напряжений находятся на выходе обмотки из паза и на изгибе проводника. Полученные значения касательных напряжений между изоляцией и медным проводником приближаются к предельно допустимому уровню, что приводит к возможному смещению материалов друг относительно друга, вызывая тем самым расслоение изоляции.

На рис. 2 приведены результаты расчета нормальных $\sigma_{хо}$ и касательных $\tau_{ми}$ напряжений в изоляции лобовых частей обмотки, из которого видно, что касательные напряжения в изоляции обмотки приближаются к пределу прочности на сдвиг между слоями ($\tau_{сд} = 6,8$ МПа). Отслаивание изоляции от токопроводящей части проводника и отрыв слоя в самой изоляции – распространенные дефекты, возникающие при изготовлении стержней или при эксплуатации обмоток.

Эти дефекты располагаются преимущественно в токопроводящей части обмотки, где пробой происходит в слое, имеющем наименьшую прочность на сдвиг и разрыв.

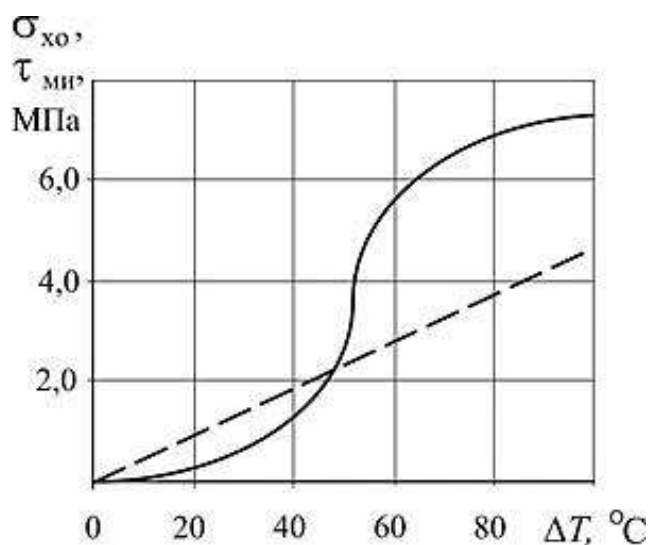


Рис. 2. Изменение напряжений в изоляции лобовых частей:
— — нормальные напряжения; - - - — касательные напряжения

Полученные результаты показывают, что напряжения в изоляционном материале зависят не только от температуры нагрева, но и от площади сечения изоляции. Поэтому увеличением площади поперечного сечения изоляции нельзя добиться уменьшения в ней тепловых напряжений. Термомеханические напряжения можно уменьшить, применяя материал с меньшими модулем упругости $E_{и}$ и коэффициентом теплового расширения $\alpha_{и}$.

Необходимо отметить, что возникновение касательных напряжений в изоляции, даже если они не вызывают расслоения слоев, ограничивают ее длительную электрическую прочность, что является основным фактором, влияющим на срок службы ТЭД.

На рис. 3 представлены результаты моделирования касательных напряжений сдвига τ_{xy} в изоляционном материале при различных значениях модуля упругости материала изоляции $E_{и}$. Анализ этих данных позволяет сделать вывод, что касательные напряжения имеют характер растяжения.

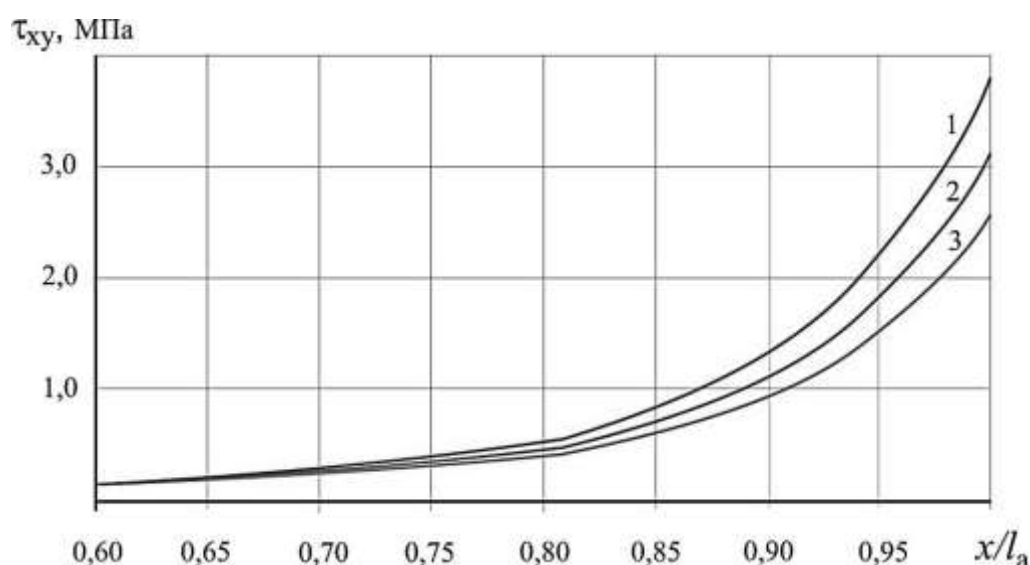


Рис. 3. Касательные напряжения вдоль границы раздела металл-изоляция при различных значениях модуля упругости: 1 – $E_{и} = 30$ ГПа; 2 – $E_{и} = 20$ ГПа; 3 – $E_{и} = 10$ ГПа

С уменьшением жёсткости материала, т. е. с увеличением его податливости, происходит снижение касательных напряжений в любой точке на границе между слоями. Наиболее заметные изменения в термо-механических напряжениях наблюдаются вблизи свободного края, где разница между максимальным и минимальным значения касательных напряжений сдвига достигает 36,1 %. Это свидетельствует о том, что использование более эластичного изоляционного материала способствует снижению межфазных напряжений по сравнению с материалами более высокой жёсткости.

На рис. 4 представлены результаты анализа касательных напряжений сдвига $\tau_{и}$ для изоляционных материалов различной толщины. Рассматривались три толщины $h_{и}$: 1,0 мм, 1,5 мм и 2,0 мм. Для всех исследованных распределений межфазных касательных напряжений $\tau_{и}$ выяв-

лено их снижение по длине с увеличением толщины изоляционного материала.

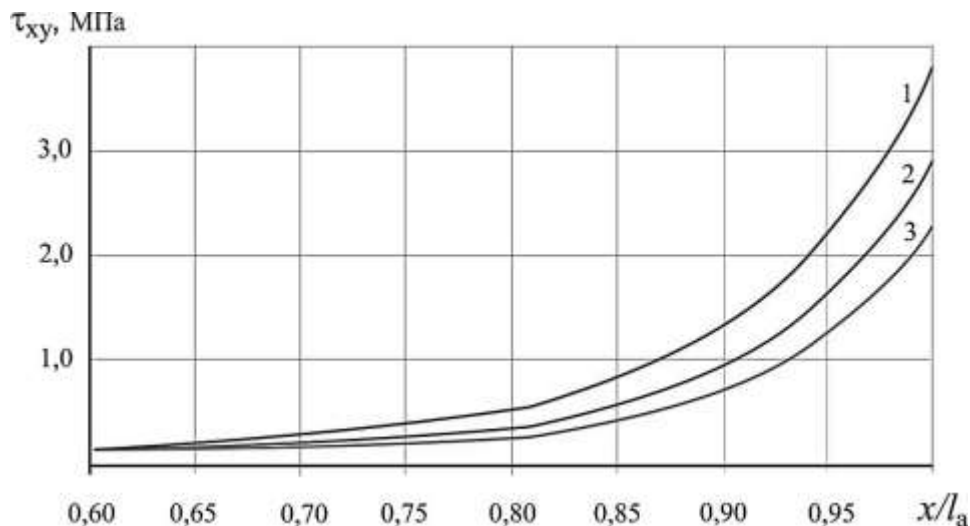


Рис. 4. Касательные напряжения вдоль границы раздела металл-изоляция при различных значениях толщины изоляции: 1 – $h_{и} = 1,0$ мм; 2 – $h_{и} = 1,5$ мм; 3 – $h_{и} = 2,0$ мм

Увеличение толщины изоляционного материала $h_{и}$ обеспечивает более эффективное поглощение касательных напряжений на границе слоёв. В связи с этим, при наличии возможности, рекомендуется использовать материал с большей толщиной. Однако следует учитывать, что увеличение толщины изоляции $h_{и}$ при ограниченном объёме паза электрической машины является дополнительным фактором, требующим более пристального рассмотрения.

В табл. 2 приведены общие результаты расчета термомеханических напряжений в пазу ТЭД при изменении температуры $\Delta T = 100$ °С. Представлена максимальная амплитуда каждого компонента напряжения. Перечисленные значения представляют собой напряжения, которые вычисляются во время моделирования при достижении максимального приращения температуры. На этом температурном пике нормальные напряжения максимальны. Максимальные нормальные напряжения приходятся на сердечник статора из-за острых углов и высокого модуля упругости. Преобладающими напряжениями, воздействующими на изоляцию проводника, являются касательные напряжения сдвига.

Как показали результаты моделирования, температурный градиент и модуль упругости являются важными параметрами, влияющим на термомеханические напряжения в изоляции электрических машин локомотивов.

Таблица 2

**Максимальные значения напряжений
в обмотке тягового электродвигателя**

	σ_x , МПа	σ_y , МПа	σ_z , МПа	τ_{xy} , МПа	τ_{xz} , МПа	τ_{yz} , МПа
Проводник	39,8	5,7	59,8	6,2	13,9	11,5
Изоляция проводника	17,2	2,4	33,7	4,8	5,7	3,7
Корпусная изоляция	18,5	3,8	37,1	3,6	3,9	2,7
Сердечник статора	82,3	6,9	86,4	5,6	6,1	4,0
Пропитка	18,8	3,4	35,7	3,4	3,5	2,9

В результате анализа установлено, что при уровнях касательных напряжений в изоляции обмотки, не превышающих 1,93 МПа, наблюдается отсутствие видимых изменений ее структуры. Материал демонстрирует преимущественно упругие деформации. Данное явление можно интерпретировать как проявление закона Гука, который описывает пропорциональность между напряжением и деформацией в рамках упругого поведения материала. В нашем конкретном случае указанный уровень касательных напряжений соответствует температурному интервалу нагрева обмотки T , варьирующимся от 58 до 63 °С.

Для дальнейшего анализа принимаем пороговое значение температуры начала термомеханического воздействия на изоляционный материал на уровне 60 °С. Данное значение является критически важным для оценки термодинамической устойчивости изоляционного материала в условиях эксплуатации. Термомеханическое воздействие, как известно, представляет собой сложный процесс, включающий тепловое расширение, фазовые переходы и структурные изменения в материале, что может существенно влиять на его механические свойства и долговечность. Установление данного порогового значения позволяет более точно прогнозировать поведение изоляционного материала в условиях повышенных температур.

Библиографический список

1. Shrajber, M. A. Simulation of thermal processes in asynchronous traction electric motor of a locomotive / M. A. Shrajber, A. V. Grischenko. – Текст : непосредственный // Journal of Physics : Conference Series. Ser. Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021,

ИТММ-2021 – Mathematical Modeling in Socio-Economic and Informational Spheres 2021. – Т. 2131. – С. 042088. – 2021.

2. Шрайбер, М. А. Влияние термомеханической нагрузки на старение изоляции тяговых электродвигателей тепловозов / М. А. Шрайбер. – Текст : непосредственный // Известия петербургского университета путей сообщения. – 2022. – Т. 19. – № 2. – С. 242–248.

3. Шрайбер, М. А. Моделирование усталостных повреждений изоляции тяговых электродвигателей (ТЭД) / М. А. Шрайбер. – Текст : непосредственный // Современные тенденции развития транспортной отрасли : материалы II международной научно-практической конференции. – Нижний Новгород. – 2025. – С. 214–219.

4. Шрайбер, М. А. Анализ термомеханических напряжений в изоляции электрических машин локомотивов / М. А. Шрайбер. – Текст : непосредственный // ELTRANS-2023 : сборник трудов XI международного симпозиума ; Петербургский государственный университет путей сообщения имени Императора Александра I. – 2023. – С. 456–460.

5. Шрайбер, М. А. Конечно-элементное моделирование тепловых процессов асинхронного тягового электродвигателя / М. А. Шрайбер. – Текст : непосредственный // Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы : материалы Первой международной научно-практической конференции. – Ташкент. – 2022. – С. 203–208.

6. Шрайбер, М. А. Моделирование термомеханических напряжений в изоляции тягового электродвигателя переменного тока / М. А. Шрайбер. – Текст : непосредственный // IV Бетанкуровский международный инженерный форум : электронный сборник трудов. – 2022. – С. 410–412.

РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е. В. Козин

*Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Применение современных технологий позволяет ускорять и улучшать процессы геодезических измерений в строительстве железных дорог. Строительство и обслуживание железных дорог является сложным и многогранным процессом, который требует постоянного мониторинга, точного планирования и оперативного реагирования на изменения при их эксплуатации. В последние годы беспилотные воздушные суда (БВС) стали активно применяться в строительстве железных дорог, тем самым помогая повысить эффективность контроля, сократить затраты и минимизировать риски. БВС позволяют получать высокоточную информацию о ходе строительства железных дорог, выявлять дефекты при строительстве и оптимизировать логистику работ. В статье автор затрагивает вопросы основных направлений и преимуществ применения БВС в строительстве железных дорог.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, железная дорога, лидарная система, обработка, строительство.

Геодезическая подготовка является одним из основных этапов строительства железных дорог. Стоит отметить, что традиционные классические методы геодезии, включающие использование современных геодезических приборов, инструментов и различных спутниковых систем позиционирования, требуют достаточно значительных временных и финансовых затрат. Между тем, в современной геодезии применение БВС становится все более распространенным. Известно, что БВС, которые представляют собой автономные устройства, способные осуществлять полеты без присутствия пилота на борту позволяют повысить оперативность предоставления геопространственных данных, выполняя высокоточную

аэросъемку для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) местности, построение трехмерных моделей и карт местности с точностью до нескольких сантиметров.

Для получения необходимой и точной информации о подстилающей поверхности в последнее время широко применяются лидарные системы, благодаря применению которых на БВС можно детально сканировать рельеф местности даже под густой растительностью, что особенно важно при прокладке новых железнодорожных магистралей. Последние научные исследования подтверждают, что применение лидарных систем повышают безопасность и эффективность строительства железных дорог из-за высокой точности, возможности создания различных геовидеопродуктов, быстрому сбору геодезических данных, работе в сложных условиях (туман, пыль) и устойчивости к помехам. Можно отметить, что эти системы позволяют проводить точное 3D-картографирование, мониторинг состояния пути, обнаружение препятствий и деформаций, а также интегрироваться с другими системами для комплексного анализа и контроля результатов строительства.

Стоит отметить, что к преимуществам лидарных систем на БВС в строительстве железных дорог следует отнести высокую точность и детализацию изучения местности, быстроту сбора данных, работу в сложных условиях, сканирование больших площадей земной поверхности, работу в любое время суток, в условиях тумана и пыли, мобильность, обнаружение препятствий и деформаций, устойчивость к помехам, интеграцию с другими системами.

В дальнейшем данные с БВС интегрируются в программное обеспечение для фотограмметрической обработки, что позволяет строить точные цифровые модели рельефа местности и выявлять отклонения от требуемых проектных параметров [1, 2].

Создание ЦМР с помощью БВС состоит в процессе фотограмметрической обработки аэроснимков для получения точного 3D-представления местности. Это сложный процесс, который включает в себя полет БВС с камерой над участком работ, получение большого количества перекрывающихся снимков, а затем их автоматизированную фотограмметрическую обработку для создания точечного облака геопривязанных точек, из которого формируется ЦМР. В сравнении с традиционными методами, этот подход позволяет получить высокодетализированные и точные данные в довольно короткие сроки и за более низкую стоимость, особенно для небольших или труднодоступных территорий.

На первом этапе создания ЦМР планируются аэрофотосъемочные работы с помощью БВС. Эти работы включают непосредственно опре-

деление площади съемки и планирование маршрута полета БВС. При этом учитывается, БВС выполняет полет, делая множество снимков с высоким разрешением и значительным перекрытием.

На втором этапе производится обработка аэроснимков с помощью фотограмметрического программного обеспечения по расчету положения и ориентации каждого снимка относительно друг друга и земной поверхности района работ. Из обработанных снимков формируется плотное облако геопривязанных точек, где каждая точка имеет точные пространственные координаты. Используя специальные алгоритмы, выполняется автоматическая классификация точек, отделяя рельеф от объектов на поверхности, таких как здания и растительность.

Этап непосредственного построения цифровой модели рельефа местности на основе классифицированных точек представляется в виде раstra, то есть сетки пикселей с высотами или в виде векторной триангулированной нерегулярной сети (TIN). При этом, полученная модель содержит информацию только о рельефе местности, без учета объектов на поверхности. Для отображения всех объектов используется цифровая модель местности (ЦММ).

Построенная ЦМР позволяет проводить анализ рельефа, определять морфометрические показатели (высота, уклон, экспозиция склона), а также выполнять другие операции, например, создание карт уклонов местности в строительстве железных дорог.

Кроме того, БВС позволяют оперативно отслеживать ход строительства, фиксировать нарушения технологий укладки железнодорожного полотна или других этапов дорожных работ. С помощью тепловизоров можно выявлять дефекты укладки железнодорожного полотна [3].

Своевременное обнаружение таких дефектов снижает вероятность раннего разрушения железнодорожного покрытия и продлевает срок его эксплуатации при высокоскоростном движении в дальнейшем.

БВС помогают отслеживать перемещение техники и материалов в строительстве железных дорог, сокращая время на принятие решений по логистике. Это позволяет более эффективно распределять рабочую силу и технику, снижать простои из-за несогласованности действий, контролировать соблюдение техники безопасности на объекте.

Автоматический анализ данных, собранных БВС, помогает выявлять потенциально опасные участки и предотвращать аварийные ситуации.

Между тем, стоит отметить, что строительство железных дорог может оказывать значительное воздействие на окружающую среду. БВС позволяют проводить мониторинг состояния водоёмов, растительности, а также уровня запылённости воздуха. С их помощью можно [4, 5]:

- выявлять несанкционированные свалки строительных отходов,
- контролировать эрозию почвы в зонах строительства,
- оценивать уровень воздействия работ на экосистему.

Эти данные помогают строительным компаниям соблюдать экологические нормы и снижать штрафные санкции за нарушение природоохранного законодательства Российской Федерации.

После завершения строительных работ железнодорожное полотно дороги требует регулярного систематического осмотра и ремонта. БВС позволяют быстро проводить диагностику полотна и выявлять трещины и выбоины, деформацию полотна, износ материала, барьерных ограждений.

Благодаря применению БВС можно своевременно принимать меры по ремонту полотна дорог, предотвращая его дальнейшее разрушение.

Экономическая целесообразность и эффективность применения БВС при железнодорожном строительстве заключается в оценивании полученного эффекта с затратами (например, снижение затрат на логистику, повышение производительности, доходами, экономией), а организационная – через улучшение скорости принятия решений, оптимизации логистических цепочек, автоматизации процессов и снижения рисков.

Использование БВС для доставки, мониторинга может значительно сократить расходы по сравнению с традиционными классическими методами, например, за счет исключения необходимости использования наземной или водной техники.

БВС могут выполнять задачи быстрее и чаще, чем люди, что приводит к увеличению объемов выполненных работ за единицу времени. Рост производительности и снижение операционных расходов напрямую влияют на увеличение прибыльности предприятия.

БВС позволяют более эффективно использовать имеющиеся ресурсы, например, за счет точного мониторинга состояния железнодорожной инфраструктуры. Организационная эффективность связана с улучшением внутренних процессов и структуры строительной компании благодаря интеграции БВС. Быстрый сбор и анализ данных с помощью БВС позволяют оперативно принимать управленческие решения. Использование БВС для быстрой доставки или мониторинга грузов может значительно сократить сроки и повысить надежность логистических цепочек.

БВС берут на себя монотонные и трудоемкие задачи, например, обследование территорий, что освобождает персонал для более важных операций. Применение БВС для работ в опасных или труднодоступных местах снижает риски для человеческого здоровья и жизни, а также уменьшает вероятность травматизма на производстве. БВС, оснащенные

различными датчиками, предоставляют точные и актуальные данные для анализа, что способствует повышению качества принимаемых решений.

Заключение

В заключении необходимо отметить, что применение беспилотных воздушных судов в строительстве железных дорог открывает новые возможности для повышения эффективности и качества организации и проведения геодезических работ. Современные технологии позволяют не только контролировать строительство и ремонт дорог, но и оптимизировать логистику, минимизировать экологический ущерб и улучшить безопасность на объектах. Внедрение БВС в геодезические работы позволяет получать точные геопространственные данные для планирования и контроля строительства, снижая риск проектных погрешностей.

В ближайшей перспективе развитие искусственного интеллекта и автоматизированной обработки геопространственных данных позволит еще больше расширить функциональные возможности БВС, делая железнодорожное строительство более технологичным и устойчивым.

Библиографический список

1. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов. – Москва : Недра, 1984. – Текст : непосредственный.
2. Турк, Г. Г. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в геодезии / Г. Г. Турк, Н. К. Карачёв. – Белгород : Вектор ГеоНаук, 2023. – С. 56–60. – Текст : непосредственный.
3. Соловьёв, А. Н. Основы геодезии и топографии : учебник / А. Н. Соловьёв. – Москва : Лань, 2020. – 240 с. – Текст : непосредственный.
4. Авакян, В. В. Прикладная геодезия. Технологии инженерно-геодезических работ : учебник / В. В. Авакян. – Москва : Инфра-Инженерия, 2019. – 616 с. – Текст : непосредственный.
5. Трунин, А. П. Фототеодолитная съёмка в крупных масштабах / А. П. Трунин, И. И. Финаревский, С. В. Чистяков. – Москва : Недра, 1970. – Текст : непосредственный.

А. С. Козлова, К. А. Кирпичников, В. А. Лемехова
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ УРРАН ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ

В статье рассматривается применение системы управления ресурсами, рисками и надёжностью (УРРАН) для эффективной организации тяжеловесного движения. Представлен анализ возможностей системы УРРАН, по комплексной оценке, технического состояния инфраструктуры железных дорог и прогнозированию рисков. Рассматриваются методы оценки надёжности объектов железнодорожного пути в условиях повышенных нагрузок и определение предельного состояния технических средств инфраструктуры. Предложены подходы к применению системы УРРАН для повышения безопасности и эффективности перевозок тяжеловесными составами.

Ключевые слова: система УРРАН, тяжеловесное движение, надёжность, безопасность, железнодорожный транспорт, нагрузки.

Развитие и использование тяжеловесного движения является одним из ключевых направлений повышения пропускной и провозной способности железнодорожного транспорта.

Однако увеличение веса и длины поездов приводит к дополнительным нагрузкам на железнодорожный путь, что требует новых методов и подходов к управлению техническим состоянием инфраструктуры и обеспечению безопасности движения.

Система УРРАН представляет собой технологию комплексного управления техническими средствами на основе оценки их фактического состояния. Разработанная на базе методологии RAMS (безотказность, готовность, ремонтпригодность, безопасность) и LCC (стоимость жизненного цикла), данная система позволяет перейти от планово-предупредительной системы обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию с учетом рисков (см. Рисунок) [1–3].

Внедрение и эксплуатация тяжеловесного движения выдвигает повышенные требования к надежности и безопасности всех элементов железнодорожной инфраструктуры. В этих условиях использование системы УРРАН становится необходимым для обоснования принятия решений по организации эксплуатационной работы.

Спецификой применения системы УРРАН для тяжеловесного движения является необходимость учета повышенных нагрузок на все элементы железнодорожного пути.

При организации тяжеловесного движения методология УРРАН применяется для решения следующих задач:

- Оценка воздействия повышенных нагрузок на элементы верхнего строения пути;
- Анализ надежности земляного полотна и искусственных сооружений.



Рисунок. Структура системы УРРАН

Для каждой из этих задач в рамках системы УРРАН разработаны специальные показатели эксплуатационной надежности, методики расчета рисков и критерии предельного состояния (см. Таблицу) [4].

Одним из ключевых аспектов применения системы УРРАН для тяжеловесного движения является использование специальных коэффициентов, учитывающих интенсивность воздействия тяжеловесных поездов на элементы инфраструктуры. Например, для путевого хозяйства вводятся поправочные коэффициенты к показателям интенсивности отказов в зависимости от веса поезда и осевых нагрузок [5].

Для 1 км верхнего строения пути при организации тяжеловесного движения предусматривается изменение базовых показателей надежности с учетом:

- Дополнительных динамических нагрузок на рельсы и скрепления;
- Накопления остаточных деформаций в балластном слое;
- Повышенного износа элементов верхнего строения пути.

Таблица

Ключевые показатели системы УРРАН

Наименование показателей	Физический смысл	Функции показателя
Показатели безотказности		
Интенсивность отказов	Количество отказов объекта за пропущенный тоннаж или за интервал наблюдения	– Выявление наиболее часто отказывающих объектов за пропущенный тоннаж или за интервал наблюдения; – Оценка правильности выбора на этапе проектирования конструкций, устройств и материалов, подтверждение потребительских свойств продукции; – Сравнительная оценка эффективности деятельности подразделений
Интенсивность предотказов	Количество предотказных состояний (отступлений) объекта за пропущенный тоннаж или за время работы	– Выявление накопления предотказов (дефектов) объекта за пропущенный тоннаж или за время работы; – Эффективность назначения соответствующих видов ремонта
Интенсивность использования резерва	Количество переключений на резерв за объем переработанной электроэнергии тяговой подстанции	– Выявление наименее надежных объектов при использовании резервирования; – Эффективность назначения соответствующих видов ремонта
Показатели долговечности		
Средний ресурс	Фактический пропущенный тоннаж за срок службы или фактический срок службы	– Оценка исполнения нормативного пропущенного тоннажа за назначенный срок службы или фактический срок службы; – Продление назначенного срока службы
Показатели готовности		
Коэффициент простоя	Отношение времени простоя объекта по причине отказов к объему времени наблюдения	– Оценка влияния отказов объекта и оперативности их устранения на перевозочный процесс

Окончание Таблицы

Наименование показателей	Физический смысл	Функции показателя
Показатели ремонтпригодности		
Среднее время до восстановления	Среднее время устранения отказа	– Оценка оперативности реагирования и устранения отказов; – Оценка технической оснащенности и кадрового состава подразделения на соответствие требованиям технологии технического содержания; – Сравнительная оценка эффективности деятельности подразделений
Показатели безопасности функционирования		
Интенсивность опасных отказов	Количество опасных отказов за пропущенный тоннаж или за интервал наблюдения, или за количество переработанной электроэнергии	– Выявление наиболее опасных объектов
Средняя наработка на опасный отказ	Средний пропущенный тоннаж между двумя последовательными опасными отказами или среднее время работы между двумя последовательными опасными отказами или среднее количество переработанной электроэнергии между двумя последовательными опасными отказами	– Выявление объектов с наименьшим пропущенным тоннажем между опасными отказами или средним временем работы между двумя последовательными опасными отказами или средним количеством переработанной электроэнергии между двумя последовательными опасными отказами

Методология УРРАН позволяет прогнозировать изменение параметров надежности во времени от пропуска тяжеловесных поездов, что дает возможность оптимизировать периодичность технического обслуживания и ремонта.

Применение методологии управления рисками производственной деятельности в рамках тяжеловесного движения позволяет учитывать риски повреждения земляного полотна и искусственных сооружений [6].

Для каждого риска определяются критерии допускаемых повреждений и разрабатываются мероприятия по ремонту. Особое внимание уделяется рискам, связанным с человеческим фактором, поскольку при организации тяжеловесного движения повышаются требования к квалификации персонала.

Практическое применение системы УРРАН на участках обращения тяжеловесных поездов показывает ее эффективность в следующих задачах:

- Снижение количества отказов за счет перехода к обслуживанию по фактическому состоянию инфраструктуры;
- Оптимизация расходов на техническое обслуживание и ремонт пути;
- Повышение безопасности движения тяжеловесных поездов.

По опытам эксплуатации системы УРРАН на участках Северной железной дороги установлена возможность снижения расходов на текущее содержание пути на 15–20 % [7-8].

Заключение

Система УРРАН представляет собой эффективный инструмент для решения комплекса задач, которые могут быть связаны с организацией тяжеловесного движения. Ее применение позволяет обосновано подходить к выбору технических и организационных решений.

Методология УРРАН, основанная на комплексной оценке технического состояния пути и прогнозировании рисков создает необходимую базу для развития тяжеловесного движения на сети железных дорог.

Результаты внедрения системы УРРАН на участках тяжеловесного движения свидетельствуют о повышении эффективности использования ресурсов при обеспечении надежности и безопасности перевозок.

Дальнейшее развитие системы УРРАН в рамках тяжеловесного движения должно быть связано с совершенствованием методов прогнозирования технических средств в условиях повышенных нагрузок, разработкой более точных моделей оценки рисков и внедрением современных информационных технологий поддержки принятия решений.

Библиографический список

1. Гапанович, В. А. Развитие и внедрение технологии УРРАН на железнодорожном транспорте / В. А. Гапанович. – Текст : непосредственный // Надежность. – 2013. – № 4 (47). – С. 3–10. – EDN RZWBXB.

2. Гапанович, В. А. Универсальный инструмент поддержки принятия решений / В. А. Гапанович. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 16–22. – EDN PEMSGT.

3. Гапанович, В. А. Некоторые вопросы управления ресурсами и рисками на железнодорожном транспорте на основе состояния эксплуатационной надёжности и безопасности объектов и процессов (проект УРРАН) / В. А. Гапанович, А. М. Замышляев, И. Б. Шубинский. – Текст : непосредственный // Надежность. – 2011. – № 1 (36). – С. 2–8. – EDN NWGENB.

4. Гапанович, В. А. Развитие и внедрение технологии УРРАН на железнодорожном транспорте / В. А. Гапанович. – Текст : непосредственный // Надёжность. – 2013. – № 4 (47). – С. 3–10. – EDN RZWBXB.

5. Акопян, А. Г. Система УРРАН в путевом хозяйстве / А. Г. Акопян, И. К. Михалкин, О. Б. Симаков. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 45–48. – EDN REMSJB.

6. Бокарев, С. А. О внедрении методологии УРРАН для искусственных сооружений / С. А. Бокарев, С. С. Прибытков. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2013. – № 8. – С. 25–27. – EDN REOKBD.

7. Альмеев, С. А. Внедрение системы УРРАН на полигоне Северной магистрали / С. А. Альмеев. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 29–33. – EDN REMSHN.

8. Шубинский, И. Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН / И. Б. Шубинский, А. М. Замышляев. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 10. – С. 23–28. – EDN REMSHD.

В. И. Коннов, М. Н. Дацкая, Е. Е. Вершинина
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ПАВОДКОВЫХ ВОД В ЗАБАЙКАЛЬЕ

При проектировании и реконструкции железнодорожных, горнодобывающих и сельскохозяйственных объектов выполняются расчёты и принимаются схемы по их защите от затопления паводковыми водами в период выраженных редких дождевых паводков и половодий.

В качестве примера в статье приведены результаты расчётов и принятые нами конструкции защитных и технологических дамб на объекте добычи полезных ископаемых открытым способом.

Ключевые слова: река, конструкция защитной дамбы, открытый аварийный водосброс, пруды-осветлители, технологические отстойники.

Для принятия схемы защиты объекта строительства от затопления паводковыми водами были выполнены гидрогеологические, топографические инженерно-геологические и другие изыскания [1–6]. Объект располагается на р. Амазар. Его назначение – добыча полезных ископаемых открытым способом.

Гидрологическая сеть района работ представлена р. Амазар. Река Амазар является самой крупной рекой района. Ниже слияния с р. Могоча, Амазар является водотоком VII порядка.

Средний продольный уклон русла реки – 0,0009, ширина русла 25–55 м, глубина русла от 1,2–2,0 м на плесах, до 0,7–1,0 м на перекатах. Наличие многочисленных побочней, большая мощность перемещаемого аллювия (2,5 м), значительная окатанность гальки свидетельствуют об интенсивности русловых процессов и об активном транзите аллювия. Ширина поймы колеблется от 200 до 400 м. Высота поймы над уровнем воды составляет 3–3,5 м. Первая надпойменная терраса достигает высоты 12 м и простирается почти по всей длине реки.

Русловая и пойменная фации аллювия отмечаются по всем пойменным отложениям. Пойменная фация представлена супесью, песком и илисто-глинистыми отложениями. В прибортовых частях долины пойменные отложения нередко перекрыты солифлюкционными образованиями, представленными суглинком со щебнем. Русловая фация представлена песчано-гравийно-галечными отложениями.

Морозно-мерзлотные формы рельефа развиты повсеместно. Наиболее распространены педименты – полого наклонные к руслу поверхности, выработанные в коренных породах мерзлотно-нивационными процессами. В долине реки педименты нередко плавно сочленяются с поверхностями 1-х надпойменных террас. По долине отмечаются невысокие надпойменные террасы I–II порядка, сложенные речным аллювием (Q_{III-IV}) – террасы I порядка и озерно-аллювиальными песками (Q_{II}) – террасы II порядка.

Количество выпадающих атмосферных осадков приводят к значительным колебаниям уровней воды в водотоке. Весеннее половодье слабое и происходит в мае. Период дождевых паводков приходится на июль – август. Пик паводка характеризуется расходом воды до 400 м³/сек. Уровни воды увеличиваются с 1,0 м до 6 м. Качество воды не удовлетворяет санитарно-эпидемиологическим требованиям.

Глубина сезонного промерзания грунтов (деятельный слой) достигает 3 м. Устойчивый снежный покров образуется в конце октября и к концу зимы достигает 35 см. Снежный покров окончательно сходит в начале мая. Многолетняя мерзлота занимает 85 % площади балансовых и забалансовых запасов участка объекта. Талики приурочены к русловым участкам и склонам южной экспозиции.

Грунтовые воды подмерзлотные и надмерзлотные, рыхлых отложений. Уровень грунтовых вод зависит от колебания уровня воды в водотоках и на участке работ находится в пределах 1,5,0–3,5 м.

Разрез рыхлых отложений пойменной части долины р. Амазар в пределах Королевского месторождения имеет трехчленное строение.

1. Мощность илистых, песчано-глинистых и песчаных отложений достигает 6,0 м.

2. Мощность песчано-гравийной, галечной смеси доходит до 7,0 м.

3. Мощность щебня и дресвы, образующихся от разрушения коренных пород, изменяется от 0,6 м до 2,5 м.

В разрезе встречаются прослои и линзы льда и торфа, наибольшее количество которых сосредоточено в верхнем илисто-песчаном слое. По грансоставу преобладает гравийно-галечная фракция. Коэффициент фильтрации грунтов, определённый по формуле И.И. Зауэрбрея составляет для рыхлых грунтов 35,42 м/сут, для массива – 21,08 м/сут.

В работе учтены требования СНиП 2.06.05-84 по защите от подтопления пионерных и рабочих отстойников, дамб и руслоотводных каналов.

С этой целью запроектирована защитная дамба, отделяющая реку от участка работ на 50 м. Защитные дамбы также расположены в верхней части россыпи. Значительные объемы вскрышных пород переталкиваются бульдозерами в эти дамбы.

Для накопления воды в прудах-осветлителях устраиваются подпорные дамбы (табл. 1).

Проектирование отдельных сооружений выполнено с учетом требований п.п. 1.12, 1.15, 2.6, 3.17, 3.19 СНиП 2.06.15.85, а также требования СНиП 2.06.01-86, СНиП 2.06.05-84.

Работа «Расчётные гидрометеорологические характеристики р. Амазар» в расчётном створе выполнена АНО «Забайкальское гидрометеорологическое агентство» в 2011 г.

Гидрографическая длина р. Амазар до верхнего расчётного створа – 30,5 км. Средний уклон водотока 9,7 ‰. Площадь водосбора – 2616,0 км². Средняя глубина реки 1,2 м. Средняя скорость течения – 1,0 м/с.

Таблица 1

Характеристика линейных сооружений

Защитная дамба	Протяжённость, км	Местоположение	Классификация, условия применения
Д-1	0,38	Левый борт участка	Отвод р. Амазар от месторождения. Грунтовая насыпная дамба с непрерывным циклом работы.

Максимальные мгновенные расходы воды различной обеспеченности р. Амазар приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчётные расходы воды р. Амазар

Река	F, км ²	q, м ³ /с км ²			Q, м ³ /с		
		1%	5%	10%	1%	5%	10%
Амазар	2616	0,6	0,42	0,34	1580,0	1105,0	885,0

Расчётные меженные расходы составляет 1,78 м³/с (табл. 3).

Таблица 3

Расчётные меженные расходы воды в реке

Защитная дамба		F, км ²	q, м ³ /с км ²		Q, м ³ /с	
			5%	10%	5%	10%
1	ПК 0+00 – ПК 3+80	2616,0	0,42	0,34	1105,0	885,0

Защитная дамба способна удерживать расчётный расход воды 885 м³/с. Отработка россыпи не превышает 2 лет.

Строительство линейных сооружений производится согласно календарному плану работ. Общая протяжённость сооружений составляет 0,38 км. Откосы дамб крепятся каменной наброской. Все объёмы работ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные объёмы работ

Дамба	Год строительства	Длина (l), км	Ширина гребня (b), м	Уклон бортов (m)	Глубина (h), м	Объём работ, м ³			оттесняемая площадь, га	Насаждение многолетних трав, га
						насыпь	крепление камнем	ПСП		
Д-1	гот.	0,38	8,0	m ₁ =2,5 m ₂ =2,0	5,0	1275	140,0		0,224	—
Итого:		0,38	8,0	m ₁ =2,5 m ₂ =2,0	5,0	1275	140,0		0,224	—

Технологические дамбы. Выполнены расчеты дамб на устойчивость, а также противифльтрационные расчеты. Все проектируемые дамбы являются временными сооружениями IV класса. Размещение технологических дамб показано на планах горных работ.

Водоподпорные дамбы. Конструкции водоподпорных дамб позволяют создать объёмы воды, необходимые для промывки песков. Рассто-

яние от зеркала воды до гребня дамбы составляет 1,5 м. Размеры дамбы: высота – 6,0 м, ширина гребня дамбы – 5,0 м, коэффициент заложения верхового откоса – 2,5, низового – 2,0.

Вскрышные гравийно-галечные породы заталкиваются бульдозерами в тело дамб. Строительство дамбы осуществляется послойно (слоями $t = 0,5$ м) с уплотнением многократной проходкой бульдозера до плотности $j = 1,8$ т/м³.

В проекте выполнен расчёт устойчивости низового откоса на примере защитной дамбы. Устойчивость откосов дамб подтверждена расчетами. Переполнение водой рабочих отстойников исключается устройством открытых аварийных водосбросов. Водосброс рассчитан на пропуск расхода воды 8,0 м³/с, скорость потока при этом может достигать 1,0 м/с.

Разделительные дамбы. С их помощью создают отстойники для осветления производственной воды. Параметры дамб: возвышение гребня дамбы над зеркалом воды – 1,5 м, ширина гребня – 5,0 м, коэффициент заложения откосов $m = 1,5$.

Предназначены для увеличения пути осветления воды в рабочих отстойниках. Высота дамб зависит от технологического уровня воды в рабочих отстойниках с превышением гребня дамб над уровнем воды 1,0–1,5 м. Ширина по гребню – 5,0 м. Заложение откосов $m = 1,5$.

Дамба пруда-осветлителя также отсыпается послойно из грунтов вскрыши. Параметры дамб: высота – $h = 3,0$ м, возвышение гребня дамбы над зеркалом воды – 1,5 м, ширина гребня – 5,0 м, коэффициент заложения откосов: верхового $m = 2,5$, низового – $m_2 = 2,5$. Перед началом работ снимается ПСП. Производство работ при строительстве аналогично оградительным дамбам. Ввиду малой высоты дамб (3,0 м), расчеты устойчивости откосов не производятся (п. 6.11 СНиП 2.06.01-86, СНиП 2.06.05-84, СНиП 2.06.15.85).

Защитная дамба. Предназначена для защиты отрабатываемых блоков россыпи от затопления речными водами при прохождении паводков. Параметры поперечного сечения: ширина по гребню – 8,0 м; $m_1 = 2,5$; $m_2 = 2,0$. Высота дамбы рассчитана на пропуск расчётного расхода воды в р. Амазар 10 % обеспеченности и поверочного расхода 5,0 % обеспеченности. Конструктивный запас над поверочным уровнем 5 % обеспеченности 0,2–0,3 м. Дамба отсыпается из грунтов вскрышных пород, образующихся при строительстве прудов-отстойников. Технология отсыпки тела дамбы такая же, что и у водоподпорных. Для исключения размывания верховой откос дамбы должен быть закреплён каменной наброской. Принимаем каменную наброску в два слоя, диаметр камня 80–300 мм.

*Расчёт устойчивости низового откоса дамб
на механическую суффозию*

Механическая суффозия грунта низового откоса не произойдет, если будет выполняться граничное условие:

$$V_{\text{вых}} < V_{\text{суф}},$$

где $V_{\text{вых}}$ – скорость фильтрации при выходе на откос, м/с; $V_{\text{суф}}$ – допустимая скорость фильтрационного потока; K_T – коэффициент фильтрации тела дамбы, м/с. $V_{\text{суф}}$ можно определить по формуле Зихарта-

Гришина: $V_{\text{суф}} = \sqrt{\frac{K_T}{30}}$; $V_{\text{вых}}$ – скорость фильтрации при выходе на откос,

$$V_{\text{вых}} = K_T \cdot J_{\text{вых}}, \text{ м/с.}$$

Расчёт выполнен на примере дамбы технологического отстойника. Дамба устойчива.

Вывод. При соблюдении технологии строительства дамб они будут устойчивы к действующим на них нагрузкам. Принятая схема гидротехнических сооружений защитит объект от затопления паводковыми водами.

Библиографический список

1. Коннов, В. И. Изменение водного режима рек при добыче полезных ископаемых в Забайкалье / В. И. Коннов, И. К. Тетеря. – Текст : непосредственный // V молодёжная научная конференция «Молодёжь и наука Забайкалья», ИПРЭК СО РАН. – Чита, 2017. – С. 81–84.

2. Коннов, В. И. Нарушение водного режима рек горными работами в Забайкалье / В. И. Коннов, Т. Н. Сызаркина. – Текст : непосредственный // Первая Всероссийская студенческая практическая конференция «ЭКОЛОГИЯ-2017», РГУ им. А. Н. Косыгина. – Москва, 2017. – С. 257–261.

3. Коннов, В. И. Влияние участков многолетнемёрзлых пород на строительство зданий и природоохранных сооружений / В. И. Коннов, Т. А. Волощук, А. О. Веслополов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы науки XXI века : VI международная научно-практическая конференция. – Москва : Международная исследовательская организация «Cognitio», 2016. – С. 47–52.

4. Konnov, V. Forms of work influencing on the rivers condition during the open gold output in the Zabaikalsky region / V. Konnov, A. Smolyanin. – Текст : непосредственный // Fundamental science and technology – promis-

ing developments II: Vol. 3, CreateSpace, 4900 LaCross Road, North Charleston, SC, USA 29406 [материалы II международной научно-практической конференции]. – Москва, 2013. – С. 58–64.7.

5. Коннов, В. И. Зависимость водного режима рек от добычи золота в их руслах / В. И. Коннов, О. О. Чеузова. – Текст : непосредственный // Кулагинские чтения : XII международная научно-практическая конференция. – Чита : ЗабГУ, 2012. – С. 101–103.

6. Дашинимаев, З. Б. Устройство дренажных сооружений в районах вечной мерзлоты / З. Б. Дашинимаев, Н. П. Сигачёв, К. А. Кирпичников. – Текст : непосредственный // В сб. «Образование – наука – производство» : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чита, 2018. – С. 96–101.

В. И. Коннов, Д. А. Васильченко, В. А. Кирюхина
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ПРОМЕРЗАНИЕ ГРУНТА ПОД ВОДООТВОДНЫМИ КАНАВАМИ

Статья посвящена рассмотрению процессов промерзания грунтов под водоотводными, нагорными и руслоотводными канавами в Забайкальском крае. Полученные зависимости и графики могут быть использованы и для расчета глубин протаивания грунта. В этом случае значения температур $t_{\text{П}}$ и $t_{\text{В03}}$ следует брать с поправками на солнечную радиацию и испарение с поверхности, а вместо теплофизических характеристик $\lambda_{\text{М}}$, $\alpha_{\text{М}}$, $c_{\text{М}}$ принимать $\lambda_{\text{Т}}$, $\alpha_{\text{Т}}$, $c_{\text{Т}}$, т. е. для грунта в талом состоянии.

Ключевые слова: промерзание грунта, параметры канавы, образование наледей, изменение температуры на дне канавы, сезонное промерзание.

Изменение водного режима в канаве из-за сезонного промерзания грунтов в ней – основная задача исследования. Строительство гидротехнических сооружений в руслах каналов, канав должно учитывать процессы промерзания грунтов стенок и дна этих линейных сооружений. Необходимо размещать фундаменты сооружений, сваи ниже глубины промерзания для исключения выпора грунтов и нарушения их конструкций [1–4].

Промерзание грунта в канавах при заданных граничных условиях 1-го рода (когда известна температура поверхности дна канавы t_{Π}) показано на расчетной схеме (рис. 1).

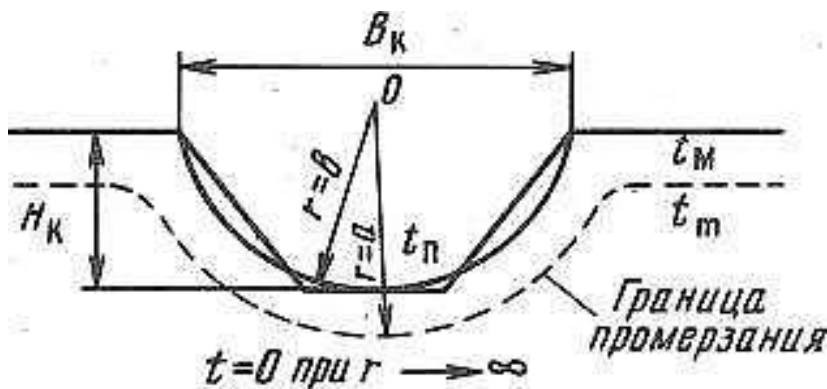


Рис. 1. Промерзание грунта в канавах при заданных граничных условиях 1-го рода: H_k – высота от бровок до дна канавы; B_k – расстояние между левой и правой бровками канавы; t_M, t_T – температура мерзлого и талого грунта в канаве соответственно, °C

Сезонное промерзание $h_{\text{пр}}$ определяем по формуле

$$h_{\text{пр}} = a - b, \quad (1)$$

где a, b – высота слоя сезонного промерзания и высота до бровок канавы соответственно.

Величина b определяется по формуле

$$b = \frac{B_k^2 + 4H_k^2}{8H_k}. \quad (2)$$

Сезонное промерзание $h_{\text{пр}}$ грунтов канавы в зависимости от коэффициента $k_{\Gamma} = \frac{4\lambda_M t_{\Pi} r}{Q_0 + 0,5 c_M t_{\Pi}}$, полученные при изменяющихся значениях коэффициента μ (нумерация кривых): I соответствует $b = 5 \text{ м}$; II соответствует $b \geq 10 \text{ м}$.

Высота слоя сезонного промерзания a находится из уравнения:

$$\frac{4\lambda_M t_{\Pi} r}{Q_0 + 0,5 c_M t_{\Pi}} = 2a^2 \ln(a/b) + a^2 + b^2. \quad (3)$$

На рис. 2-3 показаны графики, которые можно использовать для назначения сезонного промерзания $h_{\text{пр}}$.

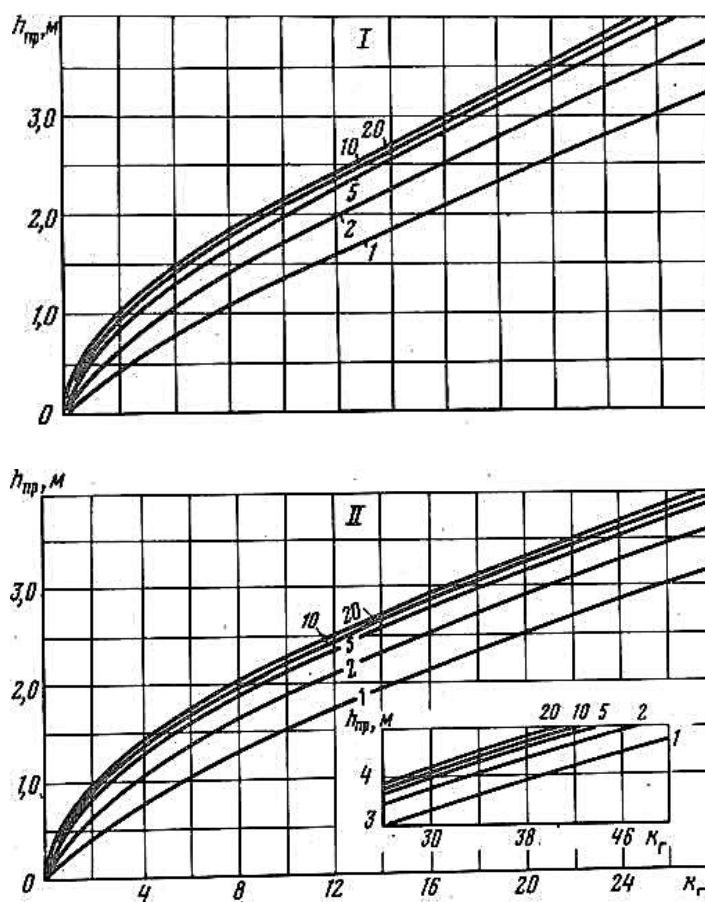


Рис. 2. Графики сезонного промерзания $h_{пр}$ грунтов канавы в зависимости от коэффициентов k_r и μ

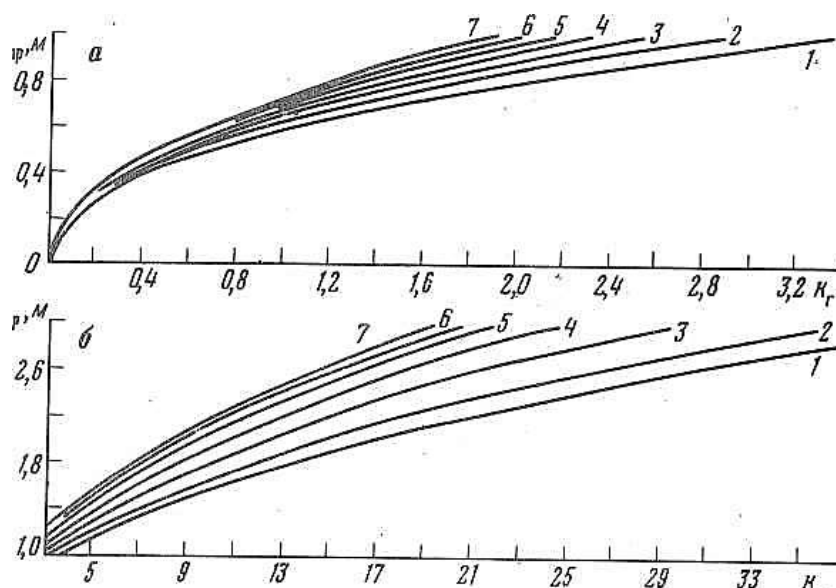


Рис. 3. Графики для определения глубины промерзания грунта под канавами как функции k_r для различных значений параметра b

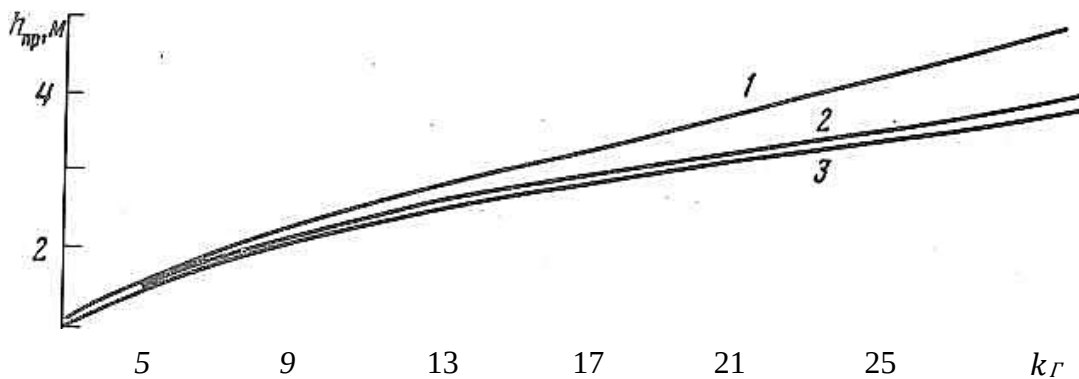


Рис. 4. Зависимость глубины промерзания $h_{пр}$ от параметра $k_Г$ для различных значений b : 1 – $b = 5$; 2 – $b = 10$; 3 – $b = \infty$

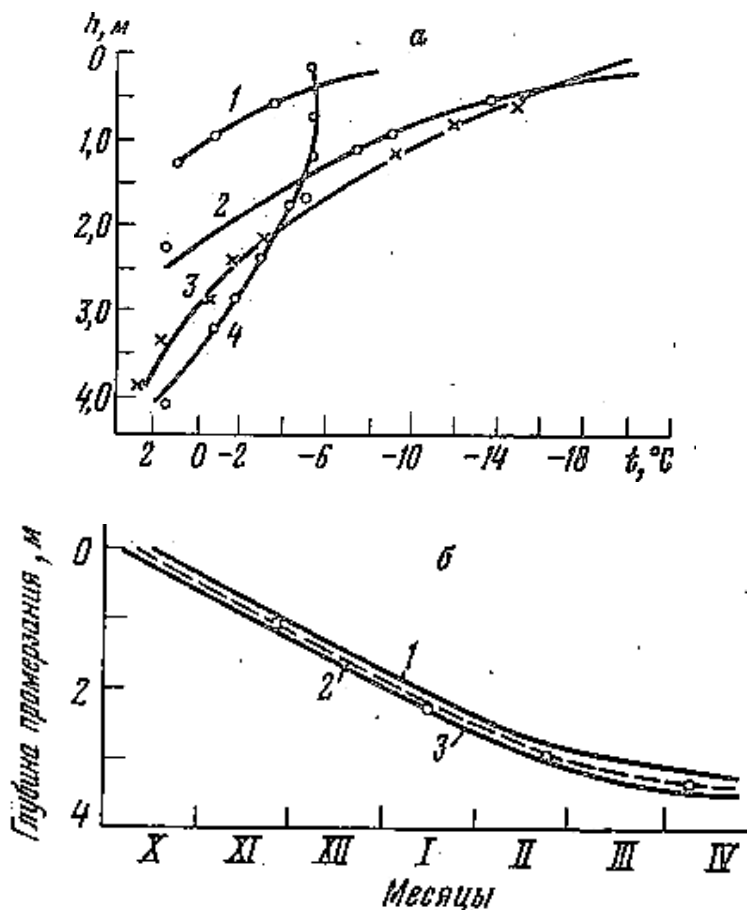


Рис. 5. Ход промерзания грунта земляного полотна на опытном участке дороги: а – графики зависимости температуры грунта от изменения толщины слоя земляного полотна; б – промерзание слоя грунта земляного полотна в осенне-зимний период: 1 – кривая, установленная расчетом по средним многолетним метеорологическим данным; 2 – кривая, рассчитанная для зимнего периода; 3 – кривая фактических глубин промерзания

Из графиков (рис. 4), построенных на основании зависимости (1) и (3) при $\mu = 20$, видно, что, чем меньше параметр b , т. е., чем меньше ширина земляного полотна, круче его откосы и больше высота, тем процесс промерзания идет более интенсивно. При $b > 10$ характер промерзания практически такой же, как и в случае одномерной задачи ($b = \infty$) (рис. 2).

Значения k_T приведены на рис. 2 – 1-7 – при значении b , равном 0,3; 0,5; 1; 2; 4; 6; 10 соответственно.

Сопоставление расчетных данных с фактическими результатами промерзания земляного полотна (рис. 5) и промерзания грунта под расчищенными от снега ($t_{\Pi} = t_{\text{Воз}}$) канавами различных конструкций показало хорошую степень сходимости. Расхождения на конец морозного периода не превышали 5–7 %.

Библиографический список

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

2. Развитие российской социально-экономической системы: вызовы и перспективы : монография / С. Л. Данильченко, А. Н. Фомичев, В. Н. Круглов [и др.] ; гл. редактор Э. В. Фомин ; Чувашский государственный институт культуры и искусств. – Чебоксары : Среда, 2024. – С. 188–197. – Текст : непосредственный.

3. Алексеев, В. Р. Основные итоги изучения наледей на территории Сибири и Дальнего Востока / В. Р. Алексеев, Н. Ф. Савко, А. И. Сизиков. – Текст : непосредственный // Зап. Забайкальского филиала Географического общества СССР. – Чита. – Вып. 92. – 1973. – С. 4–115.

4. Дашинимаяев, З. Б. Устройство дренажных сооружений в районах вечной мерзлоты / З. Б. Дашинимаяев, Н. П. Сигачёв, К. А. Кирпичников. – Текст : непосредственный // В сб. «Образование – наука – производство» : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чита, 2018. – С. 96–101.

Р. С. Купко

*Восточно-Сибирская дирекция инфраструктуры,
г. Иркутск, Россия*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АЛЮМИНОТЕРМИТНОЙ СВАРКИ

Выполнение технологии сварочного процесса термитной сварки основной залог стабильной работы стыка. Вследствие несоблюдения технологии растет вероятность появления внутренних дефектов в стыке, что может привести к нарушениям безопасности движения поездов. В данной статье автором рассматриваются причины возникновения дефектов в сварных стыках, приводится статистика возникновения дефектов. Для решения проблемы несоблюдения технологии в статье предлагается способ автоматизации контроля за сваркой термитного стыка.

Ключевые слова: алюминотермитная сварка, дефект стыка, автоматизация процесса сварки, контроль сварки, технология сварки.

Процесс алюминотермитной сварки, это процесс, в основе которого лежит жесткая привязка к временным рамкам выполняемых операций. Каждая операция при сварке алюминотермитным способом регламентирована по времени и последовательности исполнения. Каждое нарушение временного промежутка или последовательности заложенных технологией, ведет к некачественно выполненным работам и неоправданным потерям времени в технологическом «окне», финансовым потерям на израсходованный термитный компонент и замене рельса в пути.

Исключение человеческого фактора из процесса сварки на настоящем этапе развития технологии невозможно, поскольку процесс не автоматизирован, рассматривая детально весь процесс сварки алюминотермитным способом, теоретически автоматизируется только нагрев рельсов перед сваркой и проведение измерительных работ. Остальные процессы – ручные, в т. ч. и литье металла.

Отсутствие автоматизации в технологическом процессе алюминотермитной сварке, приводит к тому, что изготовление качественного сварного рельсового шва, перекладывается на сварщика, вызывая пресловутый «человеческий фактор». Сварщик-термист при производстве работ обеспечивает очередность операций, контролирует время и следит за действиями второго сварщика, участвует в сборке и установке сварочного комплекта, при этом, не теряя бдительности за движением поездов по соседним путям. Помимо факторов приведенных выше, приводящих к сни-

жению внимания, как и в любой профессии, с набором опыта (объемом наваров стыков), растет процент ошибок допускаемых сварщиком, из-за уверенности в конечном результате повторенном неоднократно.

При обработке статистического материала по дефектам в сварных алюминотермитных стыках, проанализированы случаи изломов сварных рельсовых стыков за период с 2018 г. по 2022 гг. на сети ОАО «РЖД».

В 2018 г. было допущено 10 случаев изломов рельсов в алюминотермитных стыках, по причине нарушения технологии сварки, которая выразилась в образовании дефекта «непровар» изломалось четыре рельса (код 67.4). «Непроваром» принято называть дефект сварного стыка в виде плоского дефекта, видимого на изломе, как плоские не проплавленные участки. Такой дефект может возникать в перо подошвы, нижней части шейки рельса, минимальные случаи возникновения в головке рельса. К основным причинам появления дефекта относят – нарушения сварщиком параметров работы с температурой при сварке [1]. В 2018 г. из четырех дефектов приведших к излому, в двух случаях «непровар» располагался в верхней кромке пера подошвы рельса, второй в средней части пера подошвы с нерабочей грани рельса, четвертый в перо подошвы вне проекции шейки.

В 2019 г. по причинам нарушения технологии сварки (коды 57.4, 67.4) в пути изломалось 11 сварных соединений. На рис. 1 представлены причины образования дефектов.



Рис. 1. Причины возникновения дефектов

В 2020 г. по причинам нарушения технологии сварки (коды 27.4, 57.4, 67.4) в пути изломалось 34 сварных соединения. На рис. 2 представлены причины образования дефектов.



Рис. 2. Причины возникновения дефектов

В 2021 г. по причинам нарушения технологии сварки (коды 57.4, 67.4) в пути изломалось 38 сварных соединений. На рис. 3 представлены причины образования дефектов.



Рис. 3. Причины возникновения дефектов

Среди дефектов в стыках, сваренных алюминотермитным способом в 2021 г., были зафиксированы пузыри, которые характеризуются, как круглые углубления в металле сварного шва с гладкой и блестящей поверхностью. Причиной возникновения, которого так же является нарушение технологии сварщиком, которое выражается в перегреве сварного стыка в процессе оплавления. Помимо пузырей в 2021 г. фиксировались изломы по причине наличия горячей трещины, дефекта представляющего собой трещины, уходящие в глубь термитного шва, вызванные быстрым охлаждением концов рельсов.

В 2022 г. по причинам нарушения технологии сварки (коды 57.4, 67.4) в пути изломалось 28 сварных соединений. На рис. 4 представлены причины образования дефектов.



Рис. 4. Причины возникновения дефектов

В 2023 г. по причинам нарушения технологии сварки (коды 57.4, 67.4) в пути изломалось 23 сварных соединения. Как и предыдущие пять лет, основные причины возникновения дефектов схожи, и выражены «непроварами», дефектами облива сварного шва.

Анализ случаев излома показывает, что 75 % случаев допуска брака сварного стыка, это несоблюдение сварщиком временных и температурных рамок заложенных технологией. Остальной процент выявления брака связан с несовершенством оборудования и оснастки, что в процессе развития технологий будет системно доработано, тем самым будет ис-

ключаться попадание в сварочный шов разнородных включений, переувлажнение форм и прочее.

Исключив технологические причины брака сварного стыка, необходимо планомерное снижение влияния «человеческого фактора» на качество сварных алюминотермитных стыков.

В настоящее время фиксация времени выполнения операций сводится к фиксации времени на нагрудном секундомере, при этом время этих операции сварщик планирует сам в зависимости от температуры рельса, окружающего воздуха и прочих факторов. Такой учет времени операций, в частности самых важных – нагрев рельсов, охлаждение рельсов, при несоблюдении технологических параметров может привести к итоговому не качественному результату.

Для решения данной задачи, необходимо автоматизировать процесс соблюдения хронометража в сварочном процессе. При этом соблюдение хронометража должно иметь обратную связь и фиксацию выполнения операции. Сочетать в себе весь необходимый контрольный функционал может только – «индивидуальное устройство контроля качества сварочных работ» (ИУ – далее). ИУ должно представлять собой устройство сходное по конструкции с МРМ, получившего широкое распространение в путевом комплексе и зарекомендовавшее себя как эффективный инструмент контроля за выполнение операций. Однако для мобильности, конструкция ИУ должна быть более облегченной и не ограничивать действия сварщика-термиста.



Рис. 5. Концепция ИУ

К основному функционалу ИУ можно отнести следующие позиции:

- сварщик в ИУ по завершении каждой операции отжимает кнопку (начало – конец операции) – ИУ регистрирует время операции с учетом реального времени;
- последовательность операций при сварке уже заложена в ИУ – ошибка операций исключается – служит подсказкой;
- ИУ по завершении работы служит чек-листом, в котором отмечается весь сварочный хронометраж.

Применение сварочного ИУ на этапе апробации, это учет только временного хронометража, при этом перспективой развития такого устройства должна становиться возможность контроля и учета температурной работы сварщика и возможность фото-фиксации оборудования перед сваркой и основных важных показателей сварки.

Концепция ИУ представлена на рис. 5.

Поэтапное включение в сварочный процесс ИУ позволит снижать процент брака, поскольку даже при высоком опыте (наваре стыков) сварщиком, наличие под рукой технологии в мобильном виде позволит не снижать фиксации на сварочном процессе в разрезе более мелких сварочных задач.

Библиографический список

1. Каталог дефектов соединения рельсов, сваренных контактным стыковым, термитным и газопрессовым способами [утверждён ОАО «РЖД»]. – 2022. – 122 с. – Текст : непосредственный.

Р. С. Купко

*Восточно-Сибирская дирекция инфраструктуры – Служба пути,
г. Иркутск, Россия*

ШЛИФОВАНИЕ РЕЛЬСОВ МАШИНИЗИРОВАННЫМ СПОСОБОМ. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПРОЦЕССА

Шлифование рельсов машинизированным способом остаётся одним из наиболее эффективных методов предотвращения и ликвидации развития дефектов. На эксплуатируемом пути Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры работы по шлифованию выполняет поезд СПЕНО, высокоэффективный инструмент шлифования, обеспечивающий выполнение процесса с различными настройками.

Наравне со всеми железными дорогами сети, объём выполняемых шлифовальных работ по Восточно-Сибирской железной дороге недостаточен при существующей потребности в шлифовании, поскольку существующие нормы назначения шлифовки чётко определяют сроки выполнения шлифовальных работ.

Ключевые слова: шлифование рельсов, рельсошлифовальный поезд, мобильное шлифовальное устройство, рельсовые плети.

Вопрос развития дефектов на поверхности катания на рельсовых плетях бесстыкового пути и их ликвидации, в период последних 5 лет приобретает особую актуальность. В статистке наличия дефектов, наряду с дефектом смятия в сварном стыке, все чаще появляется дефект по коду 19 – «контроленепригодность» рельса. На первоначальных этапах своего развития указанный дефект на первый взгляд, не представляющий опасности, несет в себе последствия потери донного сигнала при проверках средствами дефектоскопии. Помимо опасности в отсутствии контроля за такими рельсовыми плетями мобильными средствами диагностики, указанные плети требуют к себе повышенного внимания при проведении натурных осмотров и в результате развития дефектов приведут к необходимости их замены до наступления гарантийного срока.

При устранении поверхностных дефектов по контроленепригодности и прочих поверхностных дефектов имеющих активное развитие наиболее эффективным процессом остается шлифование рельсов машинизированным способом. Шлифование в различных степенях развития дефектов позволяет полностью ликвидировать дефект, точно предотвратить его дальнейшее развитие и произвести профилактику при первичных признаках развития.

На сети дорог в 2024 г. было запланировано проведение шлифовальных работ в объеме 36 900 км проходов. Для Восточно-Сибирской дирекции инфраструктуры плановое задание в 2400 км проходов на нужды текущего содержания пути. Указанный для дирекции шлифовальный объем последние годы сохраняется на одном уровне, как представлено на диаграмме (рис. 1).

Устанавливаемый объем ежегодного шлифования для дороги в большей степени обуславливается двумя основными факторами.

Первый фактор – это предоставление «окон» для производства работ, которые в границах дороги предоставляются по установленной технологии. Основной объем работ по шлифованию на дороге сосредоточен на участках главного хода Транссиба, где в неделю по первому и второму главным путям предоставляют только 12 часов технологических «окон».

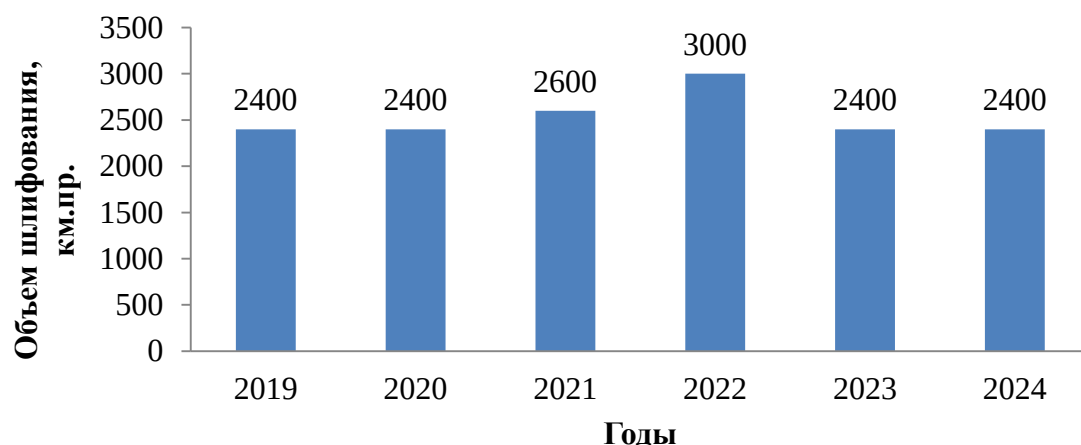


Рис. 1. Объемы шлифования по годам

Второй фактор – это наличие шлифовальной техники. Работы по шлифованию выполняются поездом СПЕНО (RR-48), это единственный поезд на дороге. При наличии на дороге двух горно-перевальных участков (протяженность которых составляет более 100 км), как очаговых мест по развитию поверхностных дефектов рельсов, поезд максимальные объемы вырабатывает по данным участкам, находясь большую часть года в дистанциях с данными участками. В виду данной специфики на остальных дистанциях пути, в которых так же эксплуатируется путь в сложных условиях, поезд отрабатывает в меньшей степени. Специфика работы рельса на горно-перевальных участках (кривые малого радиуса, профиль пути до 25 ‰, изменения режимов ведения поезда) по опыту эксплуатации пути, указывает на необходимость постоянного закрепления рельсошлифовального поезда за такими участками, как для ликвидации дефектов, так и для профилактики их появления.

Доведенный ежегодный объем шлифования ограниченный приведенными факторами, значительно меньше реальной потребности, которая ежегодно составляет не менее 5000 км проходов. Рассматривая требования нормативных документов по шлифованию в части назначения периодической шлифовки рельсов [1], в которых указывается на необходимость проведения шлифовки по всем плетям (в зависимости от фактического состояния рельсов) после пропуска тоннажа в 85 млн т брутто, то нормативная потребность шлифования составит 8000–10 000 км проходов в год. Выполнение шлифовки по потребности и расчетно-нормативной требует увеличения количества шлифовальных поездов на дороге. Увеличение поездов невозможно по причине их ограниченного количества на сети и работе в привязке к отдельной дороге с необходимостью проведения плановых ремонтов исключая их из работы.

Анализ работы рельсошлифовального поезда за 2023-2024 гг. показывает, что из всего объема ликвидированных дефектных и преддефектных мест, наибольшее количество мест составляют дефекты кода 19 и 46 (рис. 2).



Рис. 2. Дефекты, ликвидированные шлифованием

Принимая во внимание, что большую часть рабочего времени шлифование производится по рисункам, имеющим свое развитие по поверхности катания (постоянная работа по одинаковым программам (настройкам) шлифования), а так же ряд имеющихся проблемных вопросов с предоставлением «окон» и недостаточным количеством поездов на сети, необходимо подбирать альтернативные средства шлифования.

Обращаясь к мировому опыту шлифования [2, 3], можно отметить, что помимо собственно самоходных машин для шлифования со штатом на борту машины (СПЕНО, РШП, URR), на дорогах мира активно используют несамоходные и самоходные мобильные установки для шлифования. Такие установки обеспечивают шлифование на скорости до 8 км/ч, на перегон доставляются отдельной тяговой единицей (мотовоз, тепловоз), имеет собственную силовую установку, резервуар с водой с объемом до 2800 литров, управляется дистанционно с тяговой единицы одним механиком, имеет полный спектр настроек шлифования позволяющим ликвидировать поверхностные дефекты по кодам 19 и 46. Подобные машины представлены на рис. 3-4.



Рис. 3. Шлифовальный модуль АТМО

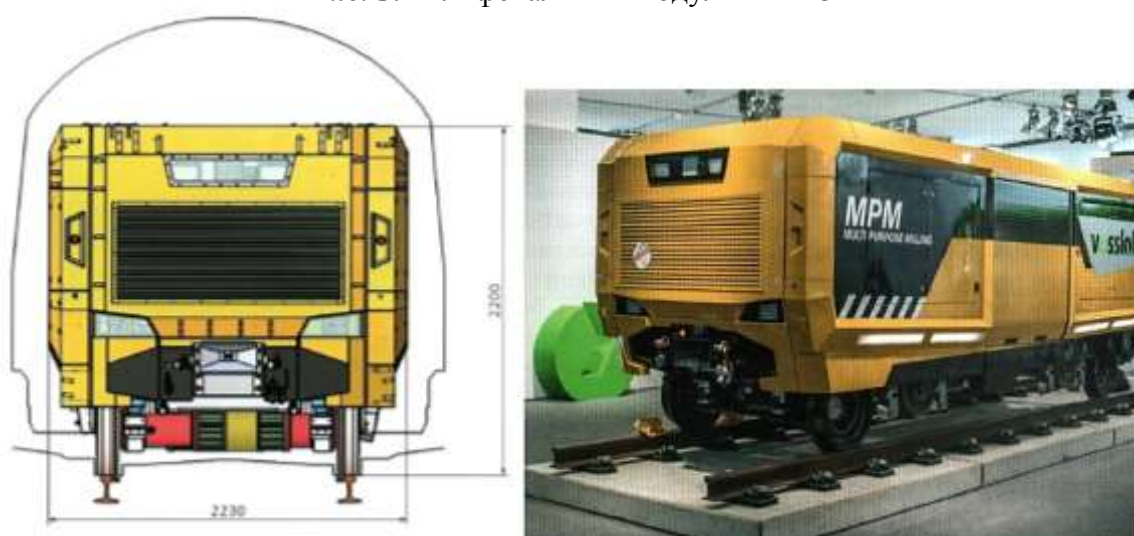


Рис. 4. Шлифовальный модуль РМР

Применение подобной мобильной техники, позволит решить следующие ключевые проблемные вопросы:

- привязка шлифовальной техники к очаговым местам проявления поверхностных дефектов, с целью сохранения рельсовых плетей;
- освобождение рельсошлифовального поезда от постоянной работы на очаговых участках дороги, за счет чего увеличивается объем выполняемых работ на дороге в целом;
- увеличение срока службы рельсов за счет профилактического шлифования.

Библиографический список

1. Технические указания по шлифовке рельсов № 388р [утверждены 22.02.2011 г.]. – Москва, 2024. – 48 с. – Текст : непосредственный.
2. Plasser und Theurer разработка инновационной машины для шлифования рельсов на линиях городского транспорта // Железные дороги мира : научно-технический журнал. – 2021. – № 3. – С. 15. – Текст : непосредственный.
3. Компактная машина для фрезерования рельсов // Железные дороги мира : научно-технический журнал. – 2019. – № 3. – С. 76–78. – Текст : непосредственный.

В. Ю. Линейцев, В. В. Фёдоров, В. В. Сальникова
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТАХ

В статье рассматриваются ключевые аспекты измерения скорости на различных видах транспорта, имеющие принципиальное значение для безопасности перевозок. Проведен сравнительный анализ методов определения скорости в автомобильном и железнодорожном транспорте, выявлены их технические особенности и характерные погрешности. Особое внимание уделено современным технологическим решениям, включая спутниковые навигационные системы и многосенсорные комплексы. На примере системы «КЛУБ-У» показаны перспективы интеллектуальных систем контроля скорости.

Ключевые слова: измерение скорости движения, автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, спидометр, GPS-навигация,

система «КЛУБ-У», безопасность перевозок, интеллектуальные транспортные системы.

В современном мире транспортные средства стали неотъемлемой частью жизни общества, формируя основу мобильности и экономического развития. Автомобильный транспорт, являясь символом личной свободы и независимости, обеспечивает повседневное удобство передвижения для миллионов людей. Одновременно железнодорожный транспорт сохраняет свою стратегическую роль, оставаясь наиболее эффективным решением для массовых грузовых перевозок на континентальные расстояния и организации высокоскоростного пассажирского сообщения между городами.

Для всех видов транспорта точное измерение скорости представляет собой не просто техническую характеристику, а жизненно важный параметр безопасности. В автомобильной сфере погрешности измерения могут привести к нарушению ПДД и аварийным ситуациям, тогда как в железнодорожном транспорте ошибки в определении скорости чреваты катастрофическими последствиями. Особую актуальность эта проблема приобретает в условиях развития автономного транспорта и интеллектуальных систем управления движением, где точность измерения скорости становится критически важной для работы алгоритмов искусственного интеллекта.

Автомобильные спидометры, являясь основным инструментом контроля скорости нередко показывают расхождения с данными GPS-навигаторов. Эти различия обусловлены принципиально разными методами измерения и требуют более детального рассмотрения.

Спидометры определяют скорость косвенным методом, анализируя частоту вращения колёс. В современных автомобилях это реализуется через датчики ABS, которые передают данные о количестве оборотов колеса в электронный блок управления. При этом расчёт основывается на предположении о постоянном диаметре колеса, что на практике не всегда соответствует действительности. Любое изменение геометрии колеса – будь то износ протектора, изменение давления в шинах или установка нештатных дисков – неизбежно вносит погрешность в измерения. Производители сознательно программируют спидометры на завышение показаний примерно на 5–10 %, что предусмотрено международными нормами безопасности.

GPS-навигаторы используют принципиально иной подход, вычисляя скорость через анализ доплеровского сдвига частоты сигналов от спутников. Этот метод обеспечивает прямое измерение скорости перемещения транспортного средства в географическом пространстве,

независимо от параметров автомобиля. Точность GPS-измерений существенно зависит от количества доступных спутников и качества приёма сигнала, достигая в оптимальных условиях погрешности всего 0,1–0,3 км/ч. Однако в условиях городской застройки или гористой местности точность может временно снижаться.

Железнодорожный транспорт предъявляет исключительно высокие требования к точности измерения скорости, что принципиально отличает его от автомобильных систем. Такая строгость обусловлена особенностями эксплуатации: огромной массой подвижного состава, достигающей нескольких тысяч тонн, чрезвычайно длинными тормозными путями, измеряемыми сотнями метров, и жёсткими скоростными ограничениями, нарушение которых может привести к катастрофическим последствиям.

Основу измерения скорости составляют три взаимодополняющих технологии. Традиционные датчики частоты вращения колёс, установленные на каждой оси, обеспечивают базовые показания, но их точность может снижаться при износе бандажей. Для компенсации этого недостатка применяются доплеровские радары, измеряющие скорость относительно земной поверхности с погрешностью менее 0,1 %, что полностью исключает влияние проскальзывания колёс. Спутниковые системы ГЛОНАСС/GPS, дополненные наземными корректирующими станциями, обеспечивают контроль на протяжённых участках, хотя и могут временно терять сигнал в тоннелях.

Особого внимания заслуживает российская разработка – система «КЛУБ-У» (Комплексное локомотивное устройство безопасности), представляющая собой интеллектуальный комплекс безопасности. Эта система интегрирует данные от всех измерительных устройств, сверяет их с цифровыми картами маршрута и способна автономно, без связи с путевой инфраструктурой, контролировать движение поезда. Уникальные алгоритмы «КЛУБ-У» не только анализируют текущую скорость, но и прогнозируют развитие ситуации, учитывая профиль пути, массу состава и его тормозные характеристики. В случае превышения допустимой скорости система сначала предупреждает машиниста, а при отсутствии реакции автоматически инициирует торможение.

Современные железнодорожные системы измерения скорости достигли невероятной точности – погрешность не превышает 0,5 %. Такой результат стал возможен благодаря комплексному использованию различных технологий, их постоянной взаимной проверке и совершенным алгоритмам обработки данных. Российская система «КЛУБ-У» является ярким примером такого подхода, устанавливая новые стандарты безопасности в железнодорожном транспорте.

Понимание особенностей работы различных систем измерения скорости, а также понимание причин различий в показаниях различных измерительных систем позволяет оптимизировать управление транспортными средствами и повышать надежность перевозок как на автодорогах, так и на железнодорожных магистралях.

Замечено, что данные по спидометру автомобиля отличается от показаний по GPS, и как правило спидометр показывает значение больше, чем GPS.

Для проверки точности измерений был проведён эксперимент в рамках автомобильных дорог, позволяющий сравнить данные обоих устройств в контролируемых условиях.

Эксперимент проводился на прямом участке дороги длиной 1 км с ровным покрытием и минимальной интенсивностью движения. Месть была открытой (равнинное поле), что благоприятно для GPS измерений. Погода в день наблюдений была безветренная и пасмурная. Испытуемый автомобиль – гибридный, оснащён автоматической коробкой передач, с загрузкой 4 человека. Шины (штатные) имели нормативное давление и минимальный износ протектора.

Автомобиль был оборудован исправным спидометром, а для фиксации GPS-данных использовался смартфон с навигационным приложением. Скорость поддерживалась на уровне 90 км/ч с помощью адаптивного круиз-контроля, что исключало влияние человеческого фактора. В процессе движения одновременно фиксировались показания обоих приборов, а также велась видеозапись эксперимента.



Рис. 1. Эксперимент 1

Результаты показали систематическое расхождение в измерениях. При скорости по спидометру 90 км/ч GPS-навигатор показывал 83 км/ч (рис. 1), что свидетельствует о разнице в 7 км/ч. Последующие замеры подтвердили эту тенденцию – в разных испытаниях при показаниях спидометра 90 км/ч GPS фиксировал 80 (рис. 2) и 83 км/ч (рис. 3) соответственно. На других скоростях ситуация такая же (скорость спидометра выше скорости GPS). Таким образом, спидометр стабильно демонстрирует более высокие значения по сравнению с GPS, причём отклонение может достигать 7–10 км/ч. Спидометр автомобиля показывает скорость на 7–12 % выше, чем GPS, что не укладывается в предусмотренные международными нормами безопасности 5–10 %.



Рис. 2. Эксперимент 2



Рис. 3. Эксперимент 3

Так же был проведен ещё один эксперимент с использованием автомобиля и показаниями внешнего информационного табло контроля скорости на автодороге. Экспонент проводился в ясную погоду на прямом участке дороги. Скорость автомобиля по спидометру была 89 км/ч, а на информационном табло отобразилось значение 78 км/ч (рис. 4), что свидетельствует о разности показаний на 11 км/ч или на 12 %, что также не укладывается в предусмотренные международными нормами безопасности 5–10 %.



Рис. 4. Эксперимент 4

Дополнительно в рамках экспериментов был произведен расчёт на основе замера времени, которое пришлось затратить автомобилю на прохождение одного километра пути. При скорости движения 90 км/ч автомобиль прошёл дистанцию равную по прямой равную 1 км – за 38 сек (0,010556 ч). Проведя математический расчет, расчетная скорость автомобиля в данном эксперименте составила 95 км/ч, что на 5 км/ч больше фактической по спидометру (круиз-контролю). Это ещё раз подтверждает наличие погрешности в показаниях автомобиля.

Возникновение расхождений объясняется разными принципами работы приборов. Спидометр измеряет скорость через вращение колёс, на которое влияют технические факторы шин (их износа, давления

и диаметра), в то время как GPS определяет скорость по изменению координат, что в теории точнее, но зависит от качества сигнала. В идеальных условиях навигатор обеспечивает более точные данные, но в городской среде его показания могут искажаться. Спидометр же, хотя и завышает показания, остаётся стабильным источником информации.

Эксперимент подтвердил системный характер расхождений между приборами. Для точного контроля скорости важно учитывать возможную погрешность спидометра, использовать GPS при хорошем сигнале и следить за техническим состоянием автомобиля, особенно за давлением в шинах и их износом. Дальнейшие исследования могут расширить понимание точности приборов в различных дорожных и погодных условиях.

Аналогичный эксперимент был проведен и на железной дороге. Погода в день наблюдений была безветренная и солнечная, что благоприятно влияет на измерения с помощью GPS измерений. Локомотив был оборудован исправным скоростемером, а для фиксации GPS-данных использовался смартфон с навигационным приложением. В процессе движения одновременно фиксировались показания обоих приборов, а также велась видеозапись эксперимента.



Рис. 5. Эксперимент 5

Результаты показали абсолютное совпадение показаний GPS и штатного оборудования. При скорости по скоростемеру 10 км/ч GPS-навигатор показывал 10 км/ч (рис. 5), что свидетельствует о разнице

в 0 км/ч. Следующие замеры подтвердили эту закономерность. В разных испытаниях при показаниях скоростемера 53 км/ч и 68 км/ч, а GPS показывал 53 (рис. 6) и 68 км/ч (рис. 7) соответственно. На других скоростях ситуация аналогичная. Таким образом, можно утверждать, что показания скоростемера в железнодорожных локомотивах имеют высокую точность, что является результатом регулярных поверок приборов и датчиков.



Рис. 6. Эксперимент 6



Рис. 7. Эксперимент 7

Выводы и заключения

Автомобильные исследования

1. В ходе эксперимента было установлено, что при измерении скорости движения спидометр автомобиля стабильно показывает скорость на 7–12 % выше, чем GPS навигатор. Это связано с особенностями конструкции: производители намеренно завышают показания, чтобы снизить риск превышения скорости и избежать юридических последствий. Кроме того, на точность спидометра влияют износ шин, изменение их диаметра и давление в колесах. Разница между показаниями сохраняется на разных скоростях, что подтверждает систематический характер погрешности.

2. Статистическая достоверность данных – результаты эксперимента согласуются с другими исследованиями. Подобные замеры проводились на разных автомобилях, в разное время и при разных скоростях движения. В открытых источниках также можно найти подтверждения того, что спидометры чаще всего завышают скорость. Это позволяет говорить о закономерности, а не о случайной погрешности.

3. Влияние внешних факторов: на показания спидометра могут влиять состояние шин, дорожные условия и нагрузка на автомобиль. Однако при большом количестве замеров эти факторы усредняются, и систематическое завышение скорости становится очевидным.

4. Необходимость дополнительных исследований: остается открытым вопрос о том, что точнее – спидометр или GPS. Спутниковые данные считаются более объективными, но и у них есть погрешности, например, в зонах плохого приема сигнала. Для окончательных выводов нужны измерения с помощью поверенного радара или испытаний на полигоне с эталонными датчиками.

Железнодорожные исследования

5. Точность показаний в железнодорожном транспорте: в отличие от автомобилей, в поездах скоростемеры и спутниковые системы (GPS/ГЛОНАСС) показывают скорость с высокой точностью. Это связано с регулярной проверкой приборов и использованием дополнительных датчиков, которые компенсируют возможные погрешности. Железнодорожные системы контроля скорости используют несколько независимых источников данных, что повышает надежность измерений.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 41.39-2017. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении указате-

ля скорости. – Введ. 2018–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 12 с. (дата обращения: 11.11.2025). – Текст : непосредственный.

2. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : приказ Минтранса России от 21.11.2016 № 385 (ред. от 13.12.2022). – Текст : непосредственный.

3. Об утверждении Требований к системам обеспечения безопасности движения железнодорожного подвижного состава : приказ Минтранса России от 13.06.2016 № 197. – Текст : непосредственный.

4. О Стратегии повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы : распоряжение Правительства РФ от 08.01.2018 № 1-р. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ Р 50.2.075-2014. Государственная система обеспечения единства измерений. Автомобили грузовые, легковые и автобусы. Методика поверки. – Введ. 2015-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 18 с. – Текст : непосредственный.

6. Капралов, В. П. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС / В. П. Капралов, А. В. Кузьмин, А. В. Сахаров. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2019. – 276 с. (дата обращения: 11.11.2025). – Текст : непосредственный.

7. Зорин, В. В. Точность определения координат и скорости подвижного состава с использованием спутниковых навигационных систем / В. В. Зорин, Ю. А. Кравцов. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2018. – № 2 (57). – С. 57–61 (дата обращения: 11.11.2025).

8. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ (ИКД). Версия 5.1. – Москва : Координационно-информационный центр ГЛОНАСС, 2008. – URL : <https://glonass-ias.ru/> (дата обращения: 11.11.2025). – Текст : электронный.

9. Кирпичников, К. А. Анализ технического состояния Забайкальской железной дороги с учётом специфики её работы / К. А. Кирпичников, А. С. Козлова. – Текст : непосредственный // Проектирование, строительство и эксплуатация транспортной инфраструктуры : Международная научно-практическая конференция памяти профессоров, докторов технических наук С. П. Першина и И. В. Турбина. – Москва, 2025. – С. 159–162.

А. Н. Опацких, Р. А. Дубровин, Д. И. Казачков

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

На сегодняшний день остро стоит вопрос, связанный со строительством и эксплуатацией железных дорог в сложных климатических условиях. В работе на основании анализа литературных источников представлен обзор основных проблем, с которыми сталкиваются при проектировании, строительстве и эксплуатации железных дорог в данных условиях, рассмотрены основные методы решения, а также произведен анализ данных методик.

Ключевые слова: железнодорожная линия, эксплуатация, сложные условия, строительство, ГИС-системы, климатические факторы.

Железные дороги связывают и объединяют разнообразные регионы, города, поселки нашей необъятной страны. В связи со значительной протяженностью территории России железная дорога нередко пролегает через неблагоприятные для строительства районы. Согласно анализу источников [1–3] отмечено ряд условий, которые считаются сложными для проектирования железнодорожных линий:

1. Сложные грунты – к ним относятся пучинистые (склонны к сезонным изменениям объема из-за замерзания и оттаивания), пывуны (водонасыщенные грунты, которые теряют свою несущую способность при встряхивании), торфяные и органические (грунты с высоким содержанием органических веществ, имеющие низкую несущую способность), насыпные (неоднородны по составу и плотности, подвержены просадкам), просадочные (при замачивании водой резко теряют свою прочность и дают значительную просадку), помимо этого особую сложность представляют комбинированные типы грунтов, сочетающие несколько неблагоприятных характеристик таких как, глинистые грунты с высоким содержанием органических веществ, которые представляют собой совокупность пучинистых и просадочных грунтов.

2. Сложные топографические условия характерны для железнодорожных линий с рабочими отметками земляного полотна, превышающими 12 м согласно существующему рельефу местности, а также крутизна склонов более 1:5, как правило это горная местность.

3. Активные склоновые процессы с развитием или присутствием оползней, обвалов, осыпей, селей, снежных лавин, оврагов.

4. Многолетние вечномерзлые грунты характеризуются основаниями с относительной осадкой более 0,1 мм, а также участки с наличием наледей, подземного льда, развития термокарста, солифлюкции, бугров пучения.

5. Показатели сейсмичности 7 баллов и более [4].

Под сложными условиями при проектировании в целом подразумевается использование существующих строительных норм со значительным увеличением объема производимых работ, а на строящихся и эксплуатируемых – необходимость переустройства земляного полотна, станционных путей и искусственных сооружений, сноса капитальных строений.

Основными проблемами при возведении и эксплуатации железнодорожной линии в сложных условиях с точки зрения инженерно-геологических процессов является деформация железнодорожного полотна из-за особенностей грунтов, таких как морозное пучение. Если тело насыпи насыщено водой, то при минусовой температуре вода замерзает и образует ледяные линзы, приподнимающие верхние слои грунта и балластную призму с рельсошпальной решёткой. Рельсовые нити меняют своё положение одна относительно другой и движение поездов становится опасным из-за высокой вероятности схода подвижного состава. При осадке насыпей происходит оттаивание, таяние воды в грунте происходит неравномерно, что влечет за собой потерю необходимой несущей способности грунта и геометрическое изменение положения рельсовой колеи. Помимо этого, возникают сложности строительства на заболоченных грунтах – просадки торфа и возможности разрушения дорожного полотна

Анализируя климатические характеристики района можно выделить следующее: температурные аномалии, где при температурах +25 °С и выше рельсы могут деформироваться из-за расширения стали. При температуре -25 °С и ниже может произойти разрыв рельса из-за сжатия стали (рис. 1).

Аномальное количество осадков, обильные ливни могут спровоцировать такие процессы как сели, оползни, лавины.

Экстремальные значения снежного покрова в районах с сильным ветром более 6 м/с на путях могут образовываться заносы с сугробы, которые так же несут опасность для прохождения подвижного состава (рис. 2).



Рис. 1. Разрыв рельса



Рис. 2. Снежный занос на путях

Технологические показатели также влияют на необходимость перетрассировки, так линию проектируемой железной дороги прокладывают в обход сложных участков. Так же необходим учет особенностей конструктивных решений, к примеру, на участках с льдистыми грунтами будут использовать грунты основания с исключением возможности их таяния в период эксплуатации.

Согласно организационным принципам для строительства и эксплуатации в сложных условиях характерны сжатые сроки, при этом планирование работ затрудняется из-за возведения водопропускных искусственных сооружений (ИССО), которые являются срокообразующими. Очень часто укладка пути приостанавливается из-за нарушения сроков возведения ИССО. На сегодняшний день остро строит вопрос дефицита трудовых ресурсов и строительной техники, здесь необходима рациональная концентрация сил и ресурсов, наиболее эффективное использование техники и материалов, что ведет к частым передислокациям бригад и строительной техники с одной строительной площадки на другую, что усложняет планирование работ.

Для решения проблем, связанных с вышеперечисленными факторами, ниже представлен комплекс мер, повышающий качество при проектировании, строительстве и эксплуатации железнодорожных линий.

Сложные грунты при ведении строительных работ уплотняют, если это возможно, заменяют на грунт с более высокой несущей способностью, инъекционно укрепляют. Использование того или иного метода зависит от самого грунта, проектируемой нагрузки, глубины залегания более прочных слоев. Для этого опытные специалисты проводят тщательные геологические изыскания для принятия наиболее оптимального решения.

При уплотнении грунта несущая способность повышается за счет снижения коэффициента пористости и увеличения плотности, а деформируемость грунта снижается. Существует ряд распространенных методов уплотнения: виброуплотнение (пустоты заполняются частицами грунта за счет вибрации, которая перераспределяет частицы между собой, для этого используют виброкатки, глубинные вибраторы и виброплиты), гидравлическое уплотнение (гидроуплотнение) при котором в грунт вводят воду под давлением, которая заполняет поры и перераспределяет частицы грунта, данная методика эффективно показала себя для песчаных и гравелистых грунтов.

В некоторых случаях производится замена грунта, при котором неблагоприятный грунт срезается и на его место завозится более стабильный и прочный.

Методика инъектирования хорошо зарекомендовала себя для стабилизации неустойчивых грунтов. Введение в грунт специальных растворов под давлением, которые заполняют поры и увеличивают несущую способность грунта, делают его более водонепроницаемым [4]. Существует ряд методов:

Цементация – это процесс, когда в грунт вводится цементный раствор, который заполняет поры и после застывания омоноличивает массив.

Силикатизация – в грунт вводится силикат натрия (жидкое стекло) и отвердитель, после застывания получается прочный и водонепроницаемый материал, который укрепляет грунт и препятствует попаданию нежелательной воды.

Химическая стабилизация – в грунт вводятся специальные химические вещества, которые меняют структуру грунта и его водопроницаемость.

При эксплуатации в неблагоприятных климатических условиях существуют проблемы деформации рельсов из-за изменения температуры обходят с помощью технологий укладки, конструктивных особенностей, специального обслуживания. Для этого используют температурные компенсаторы, которые регулируют изменение длины рельса, снижают внутреннее температурное напряжение. Температурные стыки (термостыки) – стальные профилированные пластины с двумя отверстиями под болтовые соединения, позволяющие болтовому соединению двигаться и компенсировать температурную деформацию. Клиновые компенсаторы, которые концы рельсов обрезают «клином» так, что один рельс «входит» в другой, образуя «единый рельс» с разрезом наискосок. При температурных изменениях рельсы скользят вдоль друг друга, не образуя стыка (рис. 3).



Рис. 3. Клиновые компенсаторы

При укладке пути в сложных условиях используют укладку бесстыкового пути. Рельсы не имеют стыков, а образуют сплошную монолитную конструкцию. Даже при резком изменении климатического режима сдвигаются только концевые участки (температурно-подвижные), тогда как средняя часть пути не испытывает критических напряжений и деформаций.

На участках бесстыкового пути, где рельсовые плети соединяются с помощью уравнильных приборов, обеспечивающих возможность перемещения одной рельсовой плети относительно другой при изменении температуры, что позволяет избежать появления значительных продольных сил и моментов в рельсах.

Геоинформационные системы (ГИС) применяются в проектировании железных дорог для решения задач управления инфраструктурой и движением поездов. Цель – обеспечить все сферы деятельности железнодорожного транспорта комплексной пространственно-координированной информацией. ГИС переводят в электронный вид картографический материал, который используется в работе служб дороги, и позволяют отображать на картах и схемах расположение объектов и их состояние.

Для проектирования железных дорог в сложных условиях необходимо использовать:

Геоинформационное моделирование – позволяет генерировать новые информационные модели на основе пространственно-координированных данных

Координатные методы определяют пространственное положение элементов дорог и геометрические параметры, включая определение длинных неровностей в вертикальной и горизонтальной плоскости («за-водин», «лощин»).

Визуализация результатов работ обеспечивает наглядное представление состояния пути, переездов, искусственных сооружений и других объектов дороги в широком диапазоне масштабов.

ГИС позволяет ускорить процесс проектирования железнодорожной линии, увеличить точность проектирования и строительства. Эти технологии позволяют так же осуществлять мониторинг состояния всех линий, что делает ГИС весьма полезной и удобной системой, использование которой необходимо в этой отрасли.

Библиографический список

1. Опацких, А. Н. Проектирование и строительство железных дорог в условиях вечной мерзлоты / А. Н. Опацких. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2020. – С. 332–335.

2. Иваненко, И. В. сравнительный анализ технологии проведения трассирования дорог в условиях залегания многолетнемерзлых пород, заторфованных и сезонно-промерзающих грунтов / И. В. Иваненко,

Е. Ю. Конушина. – Текст : непосредственный // Стратегические ресурсы тюменского АПК: люди, наука, технологии : сборник трудов LVIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Тюмень, 2024. – С. 361–370.

3. Конушина, Е. Ю. Особенности проведения инженерно-геодезических изысканий в условиях распространения многолетнемерзлых пород (на примере полуострова Таймыр) / Е. Ю. Конушина. – Текст : непосредственный // Московский экономический журнал, 2023. – Т. 8. – № 10.

4. Опадких, А. Н. О необходимости сейсмического районирования при строительстве железных дорог / А. Н. Опадких, Л. И. Кафитин, А. А. Ревякин. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России («ТрансПромЭк-2019»): сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2019. – С. 242–245.

5. Опадких, А. Н. Применение цементации при усилении грунтов существующих зданий и сооружений в условиях города Ростова-на-Дону / А. Н. Опадких, А. С. Кукушкин, И. С. Еремин. – Текст : непосредственный // Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры : труды III всероссийской национальной научно-практической конференции : сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2021. – С. 176–179.

М. И. Титаренко, Б. Э. Глюзберг, С. В. Кузнецов
АО «Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
г. Москва, Россия

И. С. Лесков
Забайкальская железная дорога – филиал ОАО «РЖД»,
г. Чита, Россия

ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ СХЕМЫ ПУТЕВЫХ УСТРОЙСТВ В ЗОНЕ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ГОРЛОВИН

В горловинах станций сети дорог имеется большое число мест, где условия обращения подвижного состава лимитируются расположением стрелочных переводов, их комбинаций и примыкающих криволинейных

участков пути. Типовое решение за счет выноса стрелочных переводов в прямые участки пути весьма затратно и не всегда возможно.

Анализ показал, что имеются возможности малозатратного улучшения пути, за счет местного изменения геометрии участков горловины станции с уположением кривых и изменением геометрии стрелочных переводов, не нарушающих их конструкцию.

В настоящей статье показаны практически реализованные примеры таких улучшений для станции Тургутуй Забайкальской и станции Тында Дальневосточной железных дорог.

Ключевые слова: пропускная способность, горловины станций, стрелочные переводы, крутые кривые, улучшение геометрии пути, уположение кривых, повышение плавности хода, увеличение скоростей движения.

Проблема повышения пропускной способности в условиях ограниченных скоростей движения на путевой инфраструктуре с криволинейными участками, в том числе, и криволинейными горловинами станций, особенно актуальна для железных дорог Восточного полигона. Сложный рельеф пролегания трасс продиктовал необходимость устройства кривых участков и в местах расположения станций. По разным причинам, до пяти–семи процентов, а на некоторых направлениях и больше, от общего количества эксплуатируемых стрелочных переводов, уложены в кривых. На отдельных станциях Забайкальской железной дороги, как одиночные, так и стрелочные переводы в съездах, эксплуатируются в условиях крутых кривых. Так, в кривых радиусом 275–300 м эксплуатируются более 50 стрелочных переводов. На станции Нюкжа стрелочный перевод № 5 в кривой радиусом 303 м, на станции Артеушка съезд № 1/№ 3 в кривой радиусом 313/325 м. Разнообразные схемы укладки и условия эксплуатации стрелочных переводов в сложных стеснённых криволинейных горловинах диктуют необходимость разработки в каждом случае специальных технических решений по улучшению геометрии с уположением кривых, в т. ч., и в зоне стрелочных переводов, снижению динамики воздействия на путь и их расстройств, созданию благоприятных условий для повышения скоростей движения.

Возможны различные способы улучшения схемы устройств стрелочных переводов в кривых: от уположения кривых участков вместе с эксплуатируемыми на них стрелочными переводами, при необходимости, с корректировкой их геометрии, до создания специальных криволинейных переводов нужной кривизны. При исчерпании доступных способов улучшения геометрии, используется реконструкция, связанная с вы-

носом стрелочных переводов из кривых в прямые участки, что сопряжено со значительными расходами.

При востребованности более широкого спектра конструкций, в настоящее время для криволинейных участков разработаны только три типа одиночных односторонних криволинейных стрелочных перевода на деревянном и железобетонном подрельсовом основаниях с радиусами основного направления 600 м, 750 м и 900 м. Разработан проект одностороннего криволинейного стрелочного перевода на деревянном подрельсовом основании с радиусом основного направления 350 м. В упомянутых конструкциях переводов предусмотрены жёсткие крестовины, хотя нужны также конструкции с более совершенными крестовинами, с непрерывной поверхностью катания. Не созданы конструкции криволинейных съездов, хотя в путевом хозяйстве стрелочные переводы в криволинейных съездах эксплуатируются.

Необходимость разработки технических решений по улучшению схемы путевых устройств в стеснённых условиях криволинейных горловин станций востребовано дорогами.

Руководство Забайкальской железной дороги обращалось во ВНИИЖТ с просьбой оказать помощь в решении проблем по станции Тургутуй (письмо № 1904/Заб. от 07.03.2017 г.). Ограничение скоростей движения до 25 км/ч.



Рис. 1. Стрелочный перевод № 13 на станции Тургутуй после проведения работ

В результате проведенного анализа была разработана схема улучшения путевых устройств за счёт уположения кривой вместе с эксплуатируемыми на ней стрелочными переводами № 11 и № 13 нечётной гор-

ловины станции Тургутуй. Техническое решение реализовано мало-затратным способом за счёт местного изменения плана пути. Радиус кривой в зоне стрелочного перевода № 13 (рис. 1) и на подходах к нему увеличен с 300 до 600 м.

Данные по улучшению схемы расположения путевых устройств представлены на рис. 2 и в табл. 1.

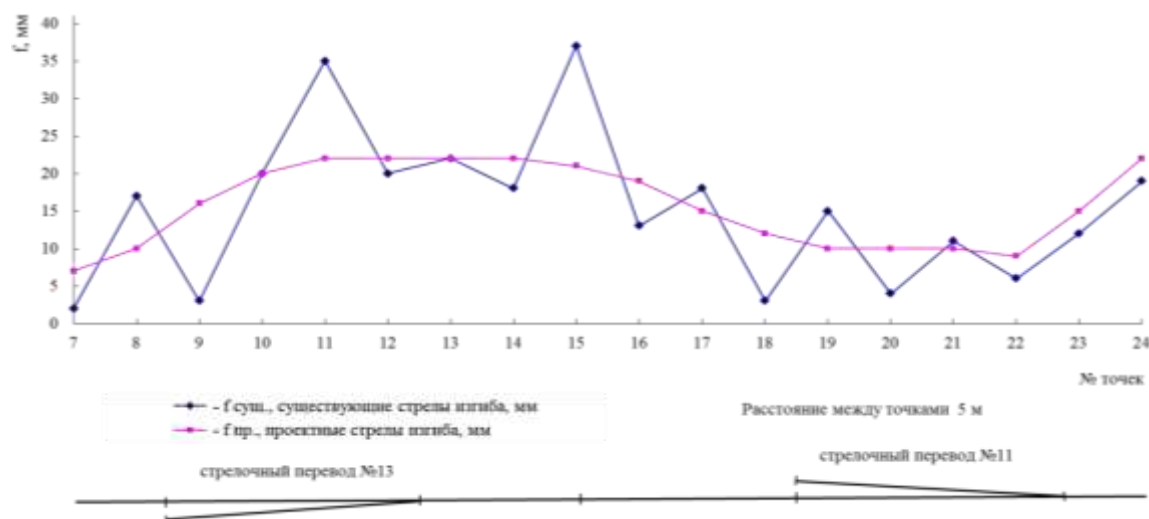


Рис. 2. Изменение плана пути в зоне стрелочных переводов № 11 – № 13 первого главного пути нечетной горловины станции Тургутуй

Таблица 1

**Изменение плана путевых устройств
в зоне стрелочных переводов № 11, № 13
главного пути нечётной горловины станции Тургутуй**

№ п/п	Стрелы изгиба, мм		Сдвиги, мм	
	исходные	расчетные	+	-
7	2	7		10
8	17	10		6
9	3	16		28
10	20	20		50
11	35	22		46
12	20	22		46
13	22	22		46
14	18	22		34
15	37	21		30
16	13	19		18
17	18	15		

Окончание табл. 1

№ п/п	Стрелы изгиба, мм		Сдвиги, мм	
	исходные	расчетные	+	-
18	3	12		
19	15	10		
20	4	10	10	
21	11	10	8	
22	6	9	8	
23	12	15	2	
24	19	22		10

Примечание. (+) – рихтовка в полевую сторону, (-) – рихтовка в сторону станции.

В зоне чётной горловины станции Тургутуй был реализован проект реконструкции с выносом стрелочных переводов из кривых в прямые участки. Однако, оценка геометрии путевых устройств в зоне стрелочного перевода № 2 показала недостатки реализованного проекта и проблемы, связанные с отсутствием прямой вставки между стрелочным переводом и, примыкающим к нему, перегонным криволинейным участком пути.

В условиях интенсивной эксплуатации (грузонапряжённость 150 млн ткм брутто на км в год, разветвление грузопотоков по прямому и боковому путям стрелочного перевода в соотношении 50 % на 50 %), при разнонаправленных перегонной (правой) и стрелочной переводной (левой) кривых без прямой вставки, происходит интенсивный износ и быстрое расстройство элементов и в целом стрелочного перевода (деформация стрелочных тяг, боковой износ прямого остряка, распор колеи). В маршруте движения экипажей: перегонная кривая – противощерстный стрелочный перевод типа Р65 марки 1/11 проекта 2750 создаются крайне неблагоприятные условия для его работы. Кроме того, смещение перегонной кривой с выходом на стрелочный перевод на 10 м реализованное в проекте, ещё более усложнило работу стрелочного перевода.

С учетом ограниченного скоростного режима движения по прямому направлению стрелочного перевода (до 50–60 км/ч), было разработано и реализовано техническое решение по улучшению плана пути в зоне этого стрелочного перевода на II-м главном пути чётной горловины станции Тургутуй с формированием непосредственно на месте из типовой конструкции – разностороннего перевода с радиусом основного направления более 1000 м и уположенного бокового направления до 400–500 м (разбивка изменения положения пути показана на рис. 3).



Рис. 3. Разбивка улучшенной схемы расположения стрелочного перевода № 2 на II-м главном пути чётной горловины станции Тургутуй

Аналогичный подход к улучшению плана и схемы расположения путевых устройств реализован на станции Тында Дальневосточной железной дороги. За счёт уположения криволинейных участков пути (радиус увеличен с 200 м до 400 м) осуществлена возможность улучшения геометрии плана пути приёмо-отправочного парка станции Тында в стеснённых условиях съезда (рис. 4) между стрелочными переводами № 71–73 на маршруте обращения поездов повышенной массы и длины.



Рис. 4. Съезд между стрелочными переводами № 71 и № 73 станции Тында Дальневосточной железной дороги

Первоначальная и улучшенная – реализованная по результатам расчета схемы геометрии пути на съезде стрелочных переводов № 71–73 в приёмо-отправочном парке станции Тында представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Таблица 2

**Улучшение геометрии путевых устройств на съезде станции Тында
(стрелочные переводы № 71-73)**

№ п/п	Стрелы изгиба, мм		Сдвиги, мм	
	исходные	расчетные	+	-
6	-18	-27		44
7	-48	-31		74
8	-47	-32		54
9	-60	-32		48
10	-28	-29		2
11	-43	-20	64	
12	-7	-7	130	
13	17	7	158	
14	40	20	188	
15	18	25	162	
16	50	25	118	
17	30	23	16	

Примечание. (+) – рихтовка в полевую сторону, (-) – рихтовка в сторону станции.

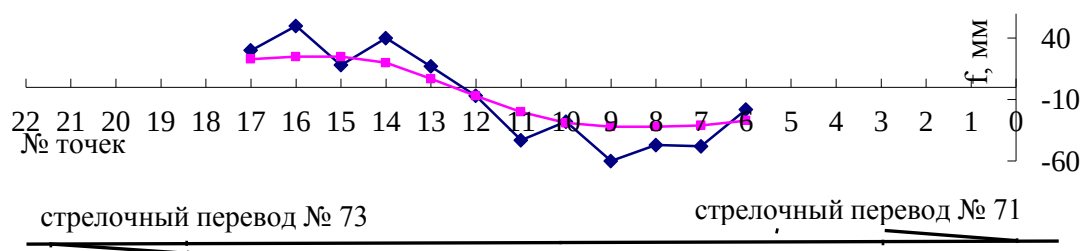


Рис. 5. Улучшение геометрии путевых устройств в маршруте обращения поездов ПМД на съезде стрелочных переводов № 71–73. Расстояние между точками 5 м, f – стрелы изгиба

Описанный в статье опыт малозатратных улучшений схем и плана пути в местах, лимитирующих обращение поездов, которые могут быть выполнены линейными путевыми подразделениями без привлечения ремонтных организаций, целесообразно распространить на дорогах всего Восточного полигона железных дорог.

М. С. Чусовитин
ООО «НОВАТЭК-ТРАНСЕРВИС»,
г. Тарко-Сале, Россия

УСИЛЕНИЕ КРИВЫХ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ НА ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛАХ

В кривых малого радиуса железнодорожных путей происходит частая замена деревянных шпал из-за частых регулировок ширины рельсовой колеи. Ослабление костылей приводит к возникновению нежелательного движения между рельсовой подкладкой и деревянными шпалами, неудовлетворительное прижимное усилие способствует ухудшению состояния железнодорожных путей, что, в конечном итоге вместе с другими дефектами (трещины, гнилость и др.) и боковым износом рельс, создаёт угрозу для безопасности движения. Также стоит отметить, что после окончания срока службы деревянная шпала подлежит утилизации специализированной компанией, т. к. из пропитки креозотом является отходом 3-го класса опасности.

Ключевые слова: деревянная шпала, рельсовая подкладка, стяжной прибор, ширина рельсовой колеи, кривые малого радиуса.

На железных дорогах России порядка 4 % от всей протяженности составляют кривые малого радиуса [3].

Применение деревянных шпал в кривых малого радиуса (менее 350 м) позволяет обеспечить более мягкое прохождение подвижного состава по рельсовой колее. Ключевой проблемой деревянных шпал является низкий срок службы (7–20 лет), а также снижение обеспечения стабильности ширины рельсовой колеи на деревянных шпалах из-за особенности конструкции рельсовых скреплений (типа ДО) [6].

Разработка костыльных отверстий в рельсовом скреплении ДО под действием вертикальных и боковых сил подвижного состава приводит к сужению или уширению рельсовой колеи на железнодорожном пути, уложенном на деревянных шпалах.

Разработка костыльных отверстий происходит из-за смятия волокна древесины, нарушения технологии забивки, частых проводимых работ по перешивке рельсовой колеи, а также из-за особенностей конструкции рельсового скрепления ДО [2].

В кривых малого радиуса для усиления рельсовой колеи применяется комбинированное подрельсовое основание: через три деревянных шпалы на четвертую укладывается железобетонная [4].

При укладке смешанного подрельсового основания происходит компенсация недостатков различных типов шпал, что приводит к увеличению срока службы деревянных шпал, уложенных совместно с железобетонными шпалами [10].

Однако недостатком данной конструкции являются повышенные расходы, связанные с применением дорогих железобетонных шпал. Также возникают потенциальные налоговые риски, так как замену деревянных шпал железобетонными представители налоговой службы РФ могут ошибочно посчитать техническим перевооружением. Единственный путь для снижения возможных налоговых рисков это разработка проектной документации и выполнение работ силами подрядных организаций. Данное решение значительно увеличивает и так повышенные расходы, связанные с укладкой железобетонных шпал.

Также в кривых малых радиусов менее 400 м применяют технологию [7], при котором усиление железнодорожного пути осуществляется за счет упорков и стяжек на каждом звене (рис. 1-2) при радиусе кривой:

- более 300 м – 5 пар упорков или 5 стяжек;
- менее 300 м – 7 пар упорков или 7 стяжек.

Но предлагаемые меры по усилению конструкции железнодорожного пути содержат недостаток, заключающийся в конструктивном несовершенстве костыльного рельсового скрепления.

Конечно, указанной выше технологией усиления предлагается решение в виде приварке скоб к рельсовой подкладке и рельсу. Сварочное прикрепление ненадежно и скобами всех недостатков не перекрыть, т. к. основной прикрепитель остается прежним – костыль.

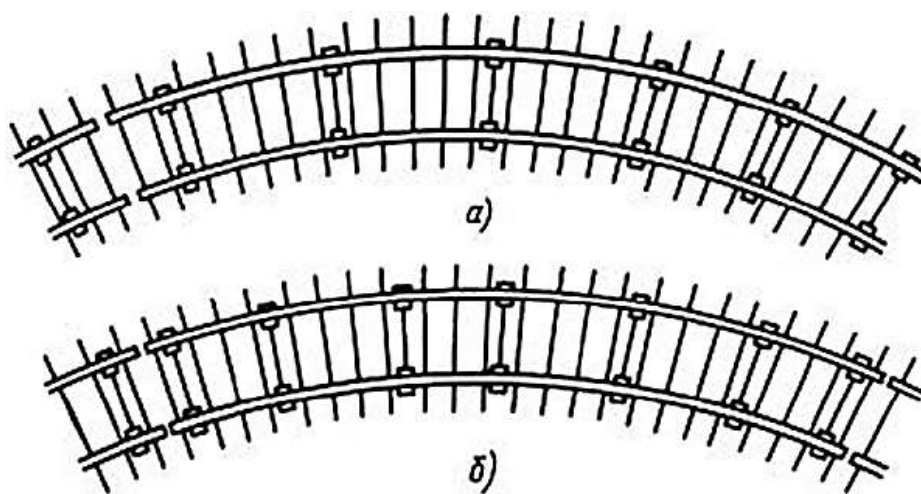


Рис. 1. Металлические стяжки: *а, б* – соответственно по 5 и 7 стяжек на звено (рельсы длиной 12,5 м)

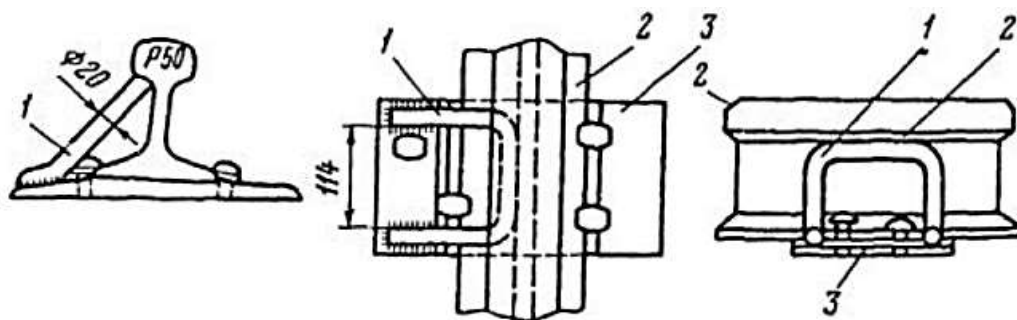


Рис. 2. Металлические упорки: 1 – скоба (приваривается к рельсовой подкладке строго по шаблону); 2 – рельс; 3 – рельсовая подкладка

Наиболее эффективным решением является применение более надежного рельсового скрепления типа КД-65, в котором рельс прижат к подкладке двумя клеммами.

Автором статьи была предложен следующий способ усиления железнодорожного пути для кривых малого радиуса: на каждом рельсовом звене (длина звена 25 м) на протяжении всей длины кривого участка железнодорожного пути устанавливаются рельсовые стяжки в шпальных ящиках с прикреплением к поверхности деревянных шпал шурупами по технологии «через четыре на пятый» (шпальный ящик), а также производится замена рельсовых скреплений с Д-65 на КД-65 по обеим рельсовым нитям на деревянной шпале, расположенной через две деревянные шпалы от той к которой прикрепляется рельсовая стяжка.

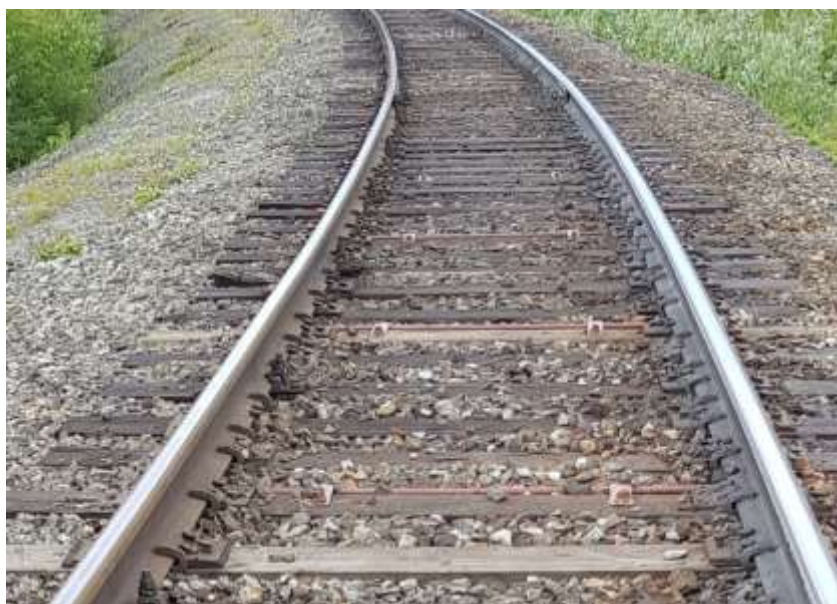


Рис. 3. Кривая малого радиуса железнодорожного пути, усиленного комбинированным применением рельсовых стяжек и рельсовых подкладок КД-65

Предложенный способ усиления кривых малого радиуса железнодорожных путей оставляет неизменным существующее подрельсовое основание – деревянную шпалу. Применение деревянных шпал приводит к снижению «парникового эффекта» [1]. Деревянные шпалы пропитаны антисептиком – креозотом, который создает проблему в части утилизации дефектных шпал (3 класс опасности [8]). На территории России единичные предприятия оказывают услуги по утилизации [9].

В период с 2021 по 2023 гг. были проведены работы по усилению трех кривых малого радиуса (менее 300 м) на железнодорожных путях необщего пользования станции Заводская (рис. 3).

Усиление кривых малого радиуса привело к сокращению работ по перешивке ширины рельсовой колеи на данных участках, что позволило снизить количество деревянных шпал, заменных на данных участках, то есть повысить срок их службы, что также позволило снизить образование отходов 3-го класса опасности.

Библиографический список

1. Божелко, И. К. Физико-механические свойства комбинированных деревянных шпал / И. К. Божелко. – Текст : непосредственный // Труды БГТУ. – 2018. – Серия 1. – № 2. – С. 211–217.
2. Говоров, В. В. Увеличение срока службы деревянных шпал / В. В. Говоров, С. А. Дороничева, М. С. Чусовитин. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2018. – Т. 15, выпуск 2. – С. 183–193.
3. Дорофеев, Я. В. Укладка рельсошпальной решётки в кривых малого радиуса / Я. В. Дорофеев, Д. В. Овчинников, В. А. Покацкий. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. – 2018. – № 2. – С. 140–143.
4. Каменский, В. Б. Усиление пути с деревянными шпалами / В. Б. Каменский, В. М. Ермаков. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 8. – С. 8–11.
5. Курьянова, Т. К. Состояние вопроса производства и эксплуатации железнодорожных шпал из различных материалов / Т. К. Курьянова. – Текст : непосредственный // Лесотехнический журнал. Деревообработка. Химические технологии. – 2017. – Вып. 4. – С. 157–166.
6. Невзорова, А. Б. О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко. – Текст : непосредственный // Труды БГТУ. – Серия 1 :

Природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 2 (246). – С. 242–249.

7. Технические требования и нормы содержания железнодорожных путей промышленного транспорта [утверждены Министерством Транспорта Российской Федерации от 31 марта 2003 г. N АН-132-Р]. – Текст : непосредственный.

8. Тунцев, Д. В. Ресурсосбережение при утилизации отработанных деревянных шпал / Д. В. Тунцев, Р. Г. Сафин, Р. Г. Хисматов, М. Р. Хайрулина, Э. Е. Антипова, И. Ф. Гараева. – Текст : непосредственный // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 5. – С. 248–250.

9. Чусовитин, М. С. Основные экологические проблемы изготовления, эксплуатации и утилизации деревянных шпал / М. С. Чусовитин. – Текст : непосредственный // Материалы V юбилейной международной научно-практической конференции «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2016)». – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2016. – С. 221–225.

10. Чусовитин, М. С. Усиление кривых участков железнодорожных путей на деревянных шпалах за счёт применения комбинированного подрельсового основания / М. С. Чусовитин. – Текст : непосредственный // Материалы X международной научно-практической конференции, ИрГУПС, 2019. – Т. 1. – С. 415–418.

В. В. Шестернина

*Приморский институт железнодорожного транспорта –
филиал ДВГУПС,
г. Уссурийск, Россия*

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ПУТЕЙ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

Статья посвящена особенностям содержания путевой инфраструктуры на высокоскоростных железнодорожных магистралях (ВСМ). Рассматриваются ключевые элементы железнодорожного пути, методы диагностики, профилактического и аварийного обслуживания, а также современные технологии, применяемые для повышения безопасности и эффективности эксплуатации. Приведены примеры международного опыта содержания ВСМ в Японии, Франции, Китае, Германии и России, включая использование лазерного сканирования,

ультразвуковой диагностики, автоматизированных систем мониторинга и роботизированных комплексов ремонта. Особое внимание уделено влиянию климатических факторов на состояние пути и методам их нейтрализации. Подчёркивается важность регулярного контроля геометрии пути, применения надёжных материалов и инновационных решений в области технического обслуживания для обеспечения безопасности и долговечности высокоскоростных магистралей.

Ключевые слова: высокоскоростные магистрали, железнодорожный путь, диагностика путей, обслуживание железнодорожной инфраструктуры, лазерное сканирование, ультразвуковая диагностика, бесстыковой путь, климатические факторы, автоматизированные системы мониторинга, ремонт путей, BCM, TGV, Shinkansen, ICE, CRH, Локомотив-СМЕТА.

Высокоскоростные железнодорожные магистрали (BCM) играют важную роль в развитии транспортной инфраструктуры, обеспечивая быстрое и комфортное перемещение пассажиров на большие расстояния. Такие проекты, как Shinkansen в Японии, TGV во Франции, ICE в Германии и высокоскоростные поезда в Китае, стали примерами успешного внедрения современных технологий в железнодорожную отрасль [1–4].

Для обеспечения безопасного и бесперебойного движения поездов на скоростях 250–400 км/ч требуется идеальное состояние железнодорожного пути. Любые отклонения в геометрии рельсов, износ или деформации могут привести к снижению комфорта поездки, поломкам или, в худшем случае, к авариям [5].

В условиях активного развития BCM в России, включая проекты Москва – Санкт-Петербург [6] и планируемые линии в другие регионы, вопросы содержания путевой инфраструктуры становятся всё более актуальными. Современные методы диагностики [7], профилактики и ремонта [8] позволяют не только повысить безопасность, но и снизить эксплуатационные расходы, что делает эту тему особенно важной для железнодорожной отрасли.

Высокоскоростные магистрали предъявляют более жесткие требования к железнодорожным путям по сравнению с традиционными линиями. Это связано с тем, что движение поездов на скоростях 250–400 км/ч вызывает значительные динамические нагрузки на инфраструктуру, что требует повышенной точности геометрии пути, надежности материалов и регулярного технического обслуживания.

Железнодорожный путь на ВСМ состоит из следующих основных элементов: рельсы – используются повышенной прочности, такие как Р75, изготовленные из стали с высоким содержанием углерода. Их отличает высокая устойчивость к износу, минимальные отклонения по прямолинейности и шероховатости [4]; шпалы – применяются железобетонные шпалы, т. к. они обеспечивают стабильное положение рельсов, лучше распределяют нагрузку и устойчивы к климатическим воздействиям [7]; балласт – балластный слой выполняет амортизирующую функцию, распределяя нагрузку от поездов. Для ВСМ используется щебень из прочных пород, таких как гранит, с одинаковым размером фракции (25–60 мм) [8].

На высокоскоростных магистралях укладывают бесстыковой путь, который исключает наличие рельсовых стыков. Это уменьшает вибрации, снижает износ подвижного состава и повышает комфорт поездки [6]. Для предотвращения тепловых деформаций рельсы укладываются с предварительным натяжением при определенной температуре.

Чтобы предотвратить возникновение дефектов и обеспечить безопасность движения, на высокоскоростных магистралях проводится регулярная диагностика состояния путевой инфраструктуры. Контроль осуществляется как в плановом режиме, так и в реальном времени с помощью автоматизированных систем [9].

Для диагностики пути используются специализированные путеизмерительные вагоны и диагностические поезда. В России это комплекс «Локомотив-СМЕТА», способный измерять ширину колеи, ровность пути, уклон и перекося рельсов.

Современные системы контроля включают: ультразвуковой контроль – обнаружение внутренних трещин и микродефектов в рельсах [3]; лазерное сканирование – измерение ровности пути, профиля рельсов и ширины колеи [2]; визуальный контроль – с помощью видеокамер, установленных на диагностических поездах и беспилотниках [10]; термомониторинг – мониторинг температуры рельсов для предотвращения деформаций [5].

Обслуживание путей на высокоскоростных магистралях делится на плановое (профилактическое) и внеплановое (аварийное).

Плановое обслуживание проводится регулярно на основе данных диагностики и включает: выправку пути – устранение вертикальных и горизонтальных неровностей [8]; рихтовку – исправление боковых отклонений рельсов; стабилизацию балласта – уплотнение щебня для повышения устойчивости пути; рельсошлифовку – удаление микронеровностей и волн на поверхности рельсов.

Внеплановое обслуживание осуществляется при выявлении критических дефектов [3]. В таких случаях используются мобильные ремонтные бригады и специальная техника [10].

Для обслуживания ВСМ применяются высокопроизводительные машины: подбивочные машины – для уплотнения балласта; рельсошлифовальные поезда – для устранения дефектов поверхности рельсов; балластопланировщики – для равномерного распределения щебня; строительные поезда – для замены рельсов и шпал.

Климатические условия оказывают значительное влияние на состояние путей высокоскоростных магистралей. При повышении температуры рельсы удлиняются, что может привести к их короблению. При понижении – сокращаются, вызывая напряжение в металле и возможное растрескивание. Ливни могут размывать балластный слой, поэтому на ВСМ устраивают эффективную систему дренажа. Сильный ветер способен повлиять на устойчивость поездов, поэтому на открытых участках устанавливаются ветрозащитные экраны.

Многие страны активно развивают высокоскоростные магистрали и применяют современные технологии для их обслуживания:

Япония (Shinkansen) – ВСМ Shinkansen обслуживаются ежедневно с использованием диагностических поездов Doctor Yellow [3], которые фиксируют малейшие отклонения. Применяется бесбалластный путь, обеспечивающий стабильность и минимальное техническое обслуживание. На участках, подверженных землетрясениям, установлены датчики сейсмической активности, автоматически останавливающие поезда при толчках [11].

Франция (TGV) – используются рельсы с термокомпенсацией, которые выдерживают температурные перепады. Ведется постоянный контроль геометрии пути с помощью лазерного сканирования. Применяется технология LRS (Long Rail Stress) для контроля напряжения в рельсах [2, 9].

Китай (CRH) – Китай активно внедряет автоматизированные системы мониторинга, фиксирующие вибрации, температуру и геометрию пути в режиме реального времени [4]. Применяются высокопрочные материалы для путевой инфраструктуры, способные выдерживать экстремальные условия. Используются роботизированные комплексы для диагностики и ремонта [9].

Германия (ICE) – ВСМ ICE обслуживаются с использованием лазерных систем сканирования и видеонаблюдения. Уделяется внимание климатической адаптации, включая подогрев рельсов и установку защитных экранов. Работы по ремонту выполняются ночью, чтобы не прерывать движение поездов [5].

В России обслуживание ВСМ Москва – Санкт-Петербург осуществляется на основе европейских стандартов с использованием отечественных и зарубежных технологий [10]. Комплексы «Локомотив-СМЕТА» проводят диагностику пути на скорости до 160 км/ч [1]. Применяются подбивочные машины Plasser & Theurer, обеспечивающие высокую точность выправки пути. Ведется регулярный ультразвуковой контроль рельсов с помощью дефектоскопных вагонов.

Содержание путей на высокоскоростных железнодорожных магистралях представляет собой сложный технологический процесс, требующий применения передовых методов диагностики, ремонта и профилактического обслуживания. Высокие скорости движения поездов предъявляют строгие требования к состоянию инфраструктуры, что обуславливает необходимость регулярного контроля геометрии пути, использования надежных материалов и автоматизированных систем мониторинга. Мировой опыт эксплуатации ВСМ, что применение современных технологий, таких как бесстыковой путь, лазерное сканирование, ультразвуковая диагностика и роботизированные системы ремонта, значительно повышает безопасность и эффективность железнодорожного транспорта [4, 6]. В России обслуживание ВСМ развивается с учетом международных стандартов, внедряя инновационные решения для поддержания высоких эксплуатационных характеристик путевой инфраструктуры. Таким образом, эффективное содержание путей на высокоскоростных магистралях является ключевым фактором обеспечения надежности, безопасности и долговечности железнодорожной сети, способствуя дальнейшему развитию транспортной инфраструктуры и повышению качества пассажирских перевозок [8, 12].

Библиографический список

1. Deutsche Bahn (Германия). – URL : <https://www.deutschebahn.com>. – Текст : электронный.
2. SNCF (Франция). – URL : <https://www.sncf.com>. – Текст : электронный.
3. R Central (Япония). – URL : <https://global.jr-central.co.jp>. – Текст : электронный.
4. China Railway. – URL : <http://www.china-railway.com.cn>. – Текст : электронный.
5. Иванов, С. П. Развитие технологий содержания железнодорожных путей на высокоскоростных магистралях / С. П. Иванов. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта. – 2021. – № 3. – С. 45–52.

6. Бондарь, А. И. Техническая эксплуатация железных дорог : учебное пособие / А. И. Бондарь. – Москва : Академия, 2020. – 384 с. – Текст : непосредственный.

7. Zhang, H., & Li, X. (2019). High-Speed Railway Track Maintenance: Challenges and Innovations. *Journal of Railway Engineering and Science*, 12(4), 235–243. – Текст : непосредственный.

8. Рельсы и инфраструктура. – 2022. – № 4. – С. 19–27. – Текст : непосредственный.

9. *Railway Gazette International*. – 2023. – Vol. 179, Issue 3. – P. 34–41. – Текст : непосредственный.

10. ОАО «РЖД». – URL : <https://www.rzd.ru>. – Текст : электронный.

11. Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 5. – С. 78–85. – Текст : непосредственный.

12. Петров, А. В. Диагностика железнодорожного пути с использованием лазерных сканеров / А. В. Петров, М. Н. Сидоров. – Текст : непосредственный // *Транспортные системы и технологии*. – 2020. – Т. 6, № 2. – С. 112–118.

РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

А. С. Алимасова, А. Е. Константинова, И. Н. Чернов
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия

А. И. Ланкина
Восточно-Сибирская дирекция
по ремонту тягового подвижного состава

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ АКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ

В статье рассматривается проблема обеспечения качественного звука в студиях видеоконференцсвязи (ВКС), актуальность которой выросла с повсеместным переходом на дистанционные форматы работы и обучения, однако зачастую при их организации не уделяется должного внимания акустическим характеристикам помещений, что приводит к возникновению ряда серьёзных проблем. Нами было проведено экспериментальное исследование акустических параметров разных помещений. В работе анализируются ключевые воспринимаемые характеристики звука, такие как гулкость, полнота тона и интимность. А также устанавливается их связь с объективными физическими параметрами, в первую очередь, с временем реверберации.

Ключевые слова: акустика помещений, видеоконференцсвязь (ВКС), реверберация, психоакустика, время реверберации, разборчивость речи, звукопоглощение.

В последнее десятилетие в рабочем и образовательном секторах наблюдается стремительный рост использования систем видеоконференцсвязи (ВКС). Эта популярность была особенно возвышена, после введения карантинных мер в 2020 г., когда ВКС стали ключевым инструментом для оперативной работы.

В частности, в таких крупных корпорациях, как ОАО «РЖД», наблюдалось значительное увеличение количества студий ВКС, развернутых на базе существующих помещений. Однако зачастую при их организации не уделяется должного внимания акустическим характеристикам помещений, что приводит к появлению акустической обратной связи (писка), звуковым задержкам, неразборчивости речи, неравномер-

ной слышимости в разных зонах помещений, возникновению эха и неустраняемых шумов [4]. Эти факторы существенно снижают эффективность коммуникации, что обуславливает актуальность проведения предварительных акустических исследований и оптимизации помещений, предназначенных для ВКС [7].

Целью данного исследования является проведение экспериментального анализа акустических параметров разных помещений, используемых под студии ВКС, оценка их соответствия субъективным критериям качества звуковосприятия и разработка практических рекомендаций по улучшению их акустических характеристик.

Введение в эксплуатацию студий видеоконференцсвязи обычно подразумевает установку комплекта специализированного оборудования: акустических систем, микрофонов, мониторов и сетевой инфраструктуры. При этом ключевой фактор, определяющий итоговое качество звука, – акустика самого помещения – часто остаётся без внимания. На восприятие звука человеком влияет сложный комплекс физических и психоакустических явлений [6]. Звуковые волны, излучаемые аппаратурой, многократно отражаются от поверхностей (стен, потолка, пола), создавая сложное звуковое поле. Его характеристики напрямую зависят от геометрии помещения, его размеров и акустических свойств материалов отделки, которые могут поглощать или отражать звук.

Для понимания принципов акустического проектирования студий необходимо обратиться к основам психоакустики – дисциплины, изучающей восприятие звука человеком [6]. Звук, как физическое явление, представляет собой распространение упругих волн в среде и характеризуется такими параметрами, как частота, амплитуда, длительность и спектр. Однако слуховые ощущения человека (громкость, высота, тембр) нелинейно и неоднозначно связаны с этими объективными величинами. Например, воспринимаемая громкость зависит не только от амплитуды звуковой волны, но и от её частоты. Человеческое ухо способно воспринимать звуки в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц и интенсивностью от 0 дБ (порог слышимости) до 140 дБ (болевого порога) [7].

Одним из фундаментальных понятий в акустике помещений является реверберация. Это процесс затухания звуковых волн в замкнутом пространстве после выключения источника звука. Важно отличать реверберацию от эха: если временной интервал между прямым звуком и его отражением превышает 30 мс, человеческое ухо воспринимает их как отдельные звуковые события (эхо), в противном случае – как единый обогащённый звук (реверберация). В типичных помещениях отражения приходят к слушателю значительно быстрее, чем за 30 мс, поэтому ре-

верберация проявляется как «хвост» или остаточное звучание, существенно влияя на разборчивость речи и качество музыки.

Качество акустики помещения оценивается через совокупность субъективных критериев, которые коррелируют с объективными физическими параметрами. К таким критериям относятся гулкость звука, полнота звука, а также наличие мешающих шумов [2].

В рамках нашего исследования была проведена серия экспериментов по оценке акустических параметров двух учебных: Д809 и Д815, которые могут рассматриваться как пример помещений для студий ВКС.

Для оценки качества звука можно использовать доступные подручные средства, например даже такие, как мобильные приложения для измерения уровня шума, устройство для измерения времени и устройство фиксации результатов измерений. Примеры программ на смартфоны для измерения уровня шума (см. рис. 1).



Рис. 1. Программы на смартфон

Естественно измерения на таких приложениях крайне неточны, поэтому мы проводим эксперименты с использованием других программ. Поэтому для проведения более достоверных экспериментов используются специализированные программы, позволяющие выполнять анализ звуковых сигналов с применением различных методов визуализации — осциллограмм, сонограмм и волновых форм.

Проведем первый эксперимент с использованием программы Oceanaudio [1]. Акустический сигнал записывался и подвергался визуальному анализу. Результаты показали, что время реверберации в Д809 составляет 0,35 с, а в Д815 – 0,7 с, что подтвердило вывод о большей гулкости последней. На осциллограммах также была заметна неравномерность затухания отражённых сигналов (см. рис. 2).

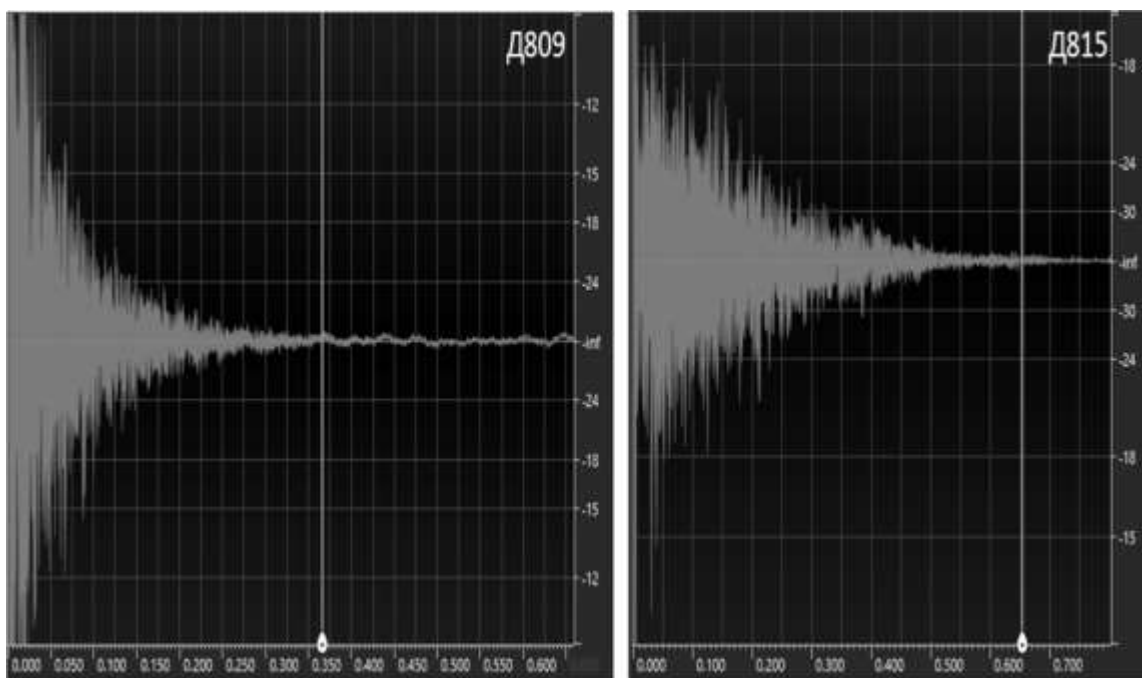


Рис. 2. Визуализация затухания звукового сигнала в аудиториях Д809 и Д815, полученная в Oceanaudio

Более детальный частотный анализ был выполнен с помощью программы Spek [5]. На сонограмме импульсного сигнала видно, что затухание происходит неравномерно по всему частотному спектру (см. рис. 3). В обеих аудиториях низкочастотные компоненты звука затухали дольше, чем высокочастотные. Это свидетельствует о низком качестве «полноты звука» и плохой «различимости», т. к. разные частотные составляющие звука исчезают не одновременно.

Следующий этап исследования включал использование специализированной программы Room EQ Wizard (REW) [3]. С помощью диаграммы Waterfall можно оценить изменение акустики помещения во времени. Для получения результата подавался сигнал с частотой, возрастающей от 20 Гц до 20 кГц. Анализ диаграммы для аудитории Д809 показал, что время реверберации на низких частотах составляет около 0,3 с (см. рис. 4).

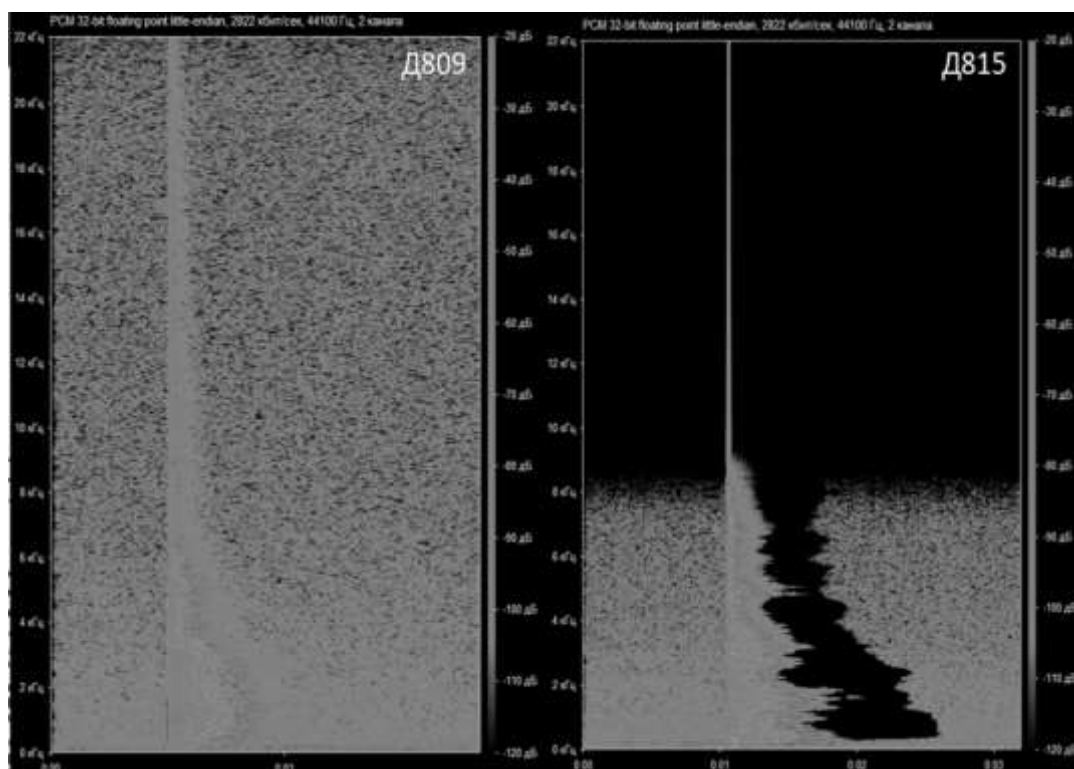


Рис. 3. Сонограмма затухания звукового импульса в программе Спек

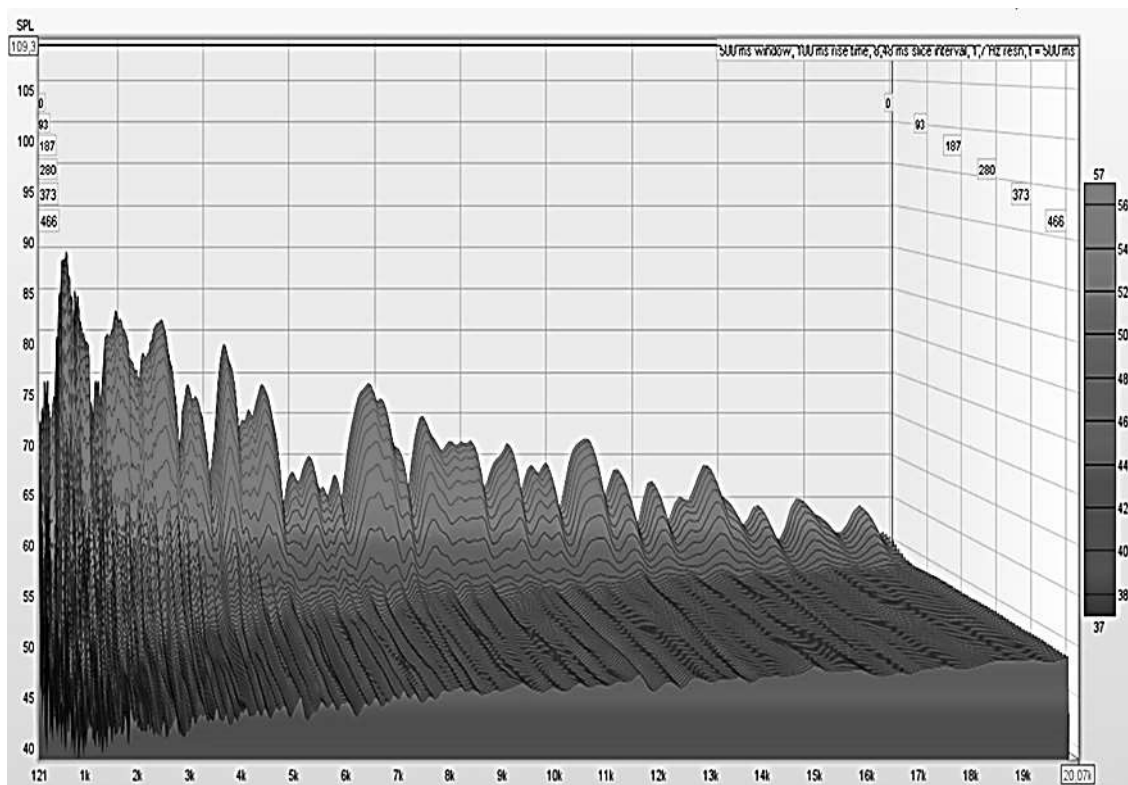


Рис. 4. Результат измерения реверберации в аудитории Д809

Для аудитории Д815 картина оказалась иной. На низких частотах значение T_r превышало 1 с, в то время как на высоких не более 0,7 с. Анализ «теплоты звука» показал, что в Д815 этот параметр несколько лучше, чем в Д809, однако в целом оба помещения не могут быть охарактеризованы как обладающие хорошей «теплотой» (см. рис. 5).

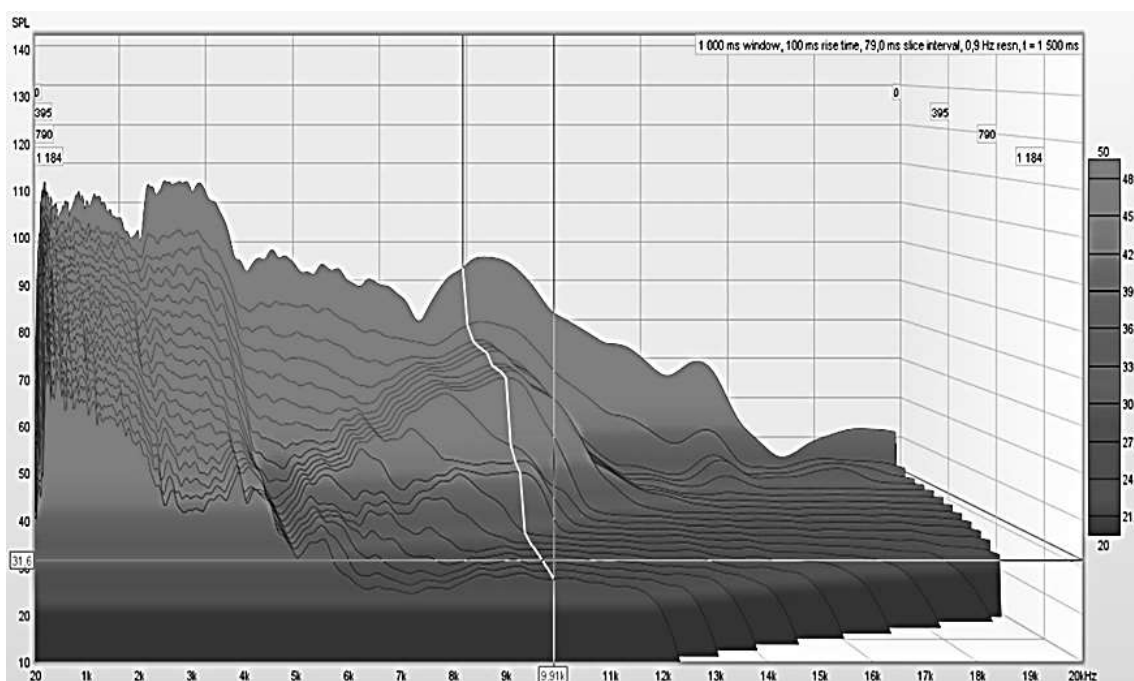


Рис. 5. Результат измерения реверберации в аудитории Д815

Проведённая серия экспериментов демонстрирует нам, что стандартные помещения, не адаптированы под использование студий ВКС. Выявленные проблемы – избыточное и неравномерное по частотам время реверберации, наличие мешающих шумов – напрямую снижают разборчивость речи и общее качество звука [2].

На основе полученных данных можно сформулировать практические рекомендации по улучшению акустики подобных помещений. Во-первых, необходимо снижение времени реверберации за счёт использования шумоизоляции. Во-вторых, подобрать более качественную аппаратуру, такую как, микрофоны и колонки. А так же правильное размещение данных акустических систем для минимизации влияния стоячих волн и обратной связи.

В завершении хотим сказать, что даже базовые акустические измерения, проведённые с помощью доступного программного обеспечения, позволяют выявить ключевые проблемы помещений и назначить пути их решения.

Библиографический список

1. Аудиоредактор Ocenaudio. – URL : <https://postolny.github.io/2023-03-07/ocenaudio>. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ Р 53187-2008. Акустика. Измерение шумов на местности. – Введ. 2009-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2009. – Текст : непосредственный.
3. Измерения для начинающих. – URL : <https://stereo.ru/p/6w87l-izmereniya-v-pomeschenii-dlya-nachinayuschih-chast-i-teoriya>. – Текст : электронный.
4. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебное пособие / под редакцией К. И. Закревского. – Москва : Логос, 2017. – Текст : непосредственный.
5. История тестирования программы «К»: Kotlin&Spek. – URL : <https://habr.com/ru/companies/qiwi/articles/419699/> – Текст : электронный.
6. Морозов, В. П. Психоакустика и музыкальная акустика : учебное пособие / В. П. Морозов. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – Текст : непосредственный.
7. Сапожков, М. А. Электроакустика : учебник для вузов / М. А. Сапожков. – Москва : Радио и связь, 2015. – Текст : непосредственный.

Е. Е. Андреева, Ю. В. Могильников

*Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия*

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЖАТ
С ПОМОЩЬЮ ЦПП-Ш «ЭЙЛЕР»**

В статье рассматриваются возможности применения цифровой производственной платформы ЦПП-Ш «Эйлер» в хозяйстве автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта. Представлены основные функции платформы, включая планирование и контроль работ, мониторинг технического состояния устройств ЖАТ, расчёт ключевых показателей эффективности, а также обеспечение необходимыми ресурсами для выполнения задач. Особое внимание уделено роли ЦПП-Ш в автоматизации производственных процессов, повышении надёжности устройств сигнализации, централизации и блокировки, а также в обеспечении безопасности движения поездов.

Ключевые слова: цифровая производственная платформа, ЦПП-Ш «Эйлер», автоматика железнодорожного транспорта, телемеханика

ка, мониторинг технического состояния, автоматизация процессов, безопасность движения.

Современный железнодорожный транспорт требует высокой степени автоматизации и точного контроля за состоянием технических средств, обеспечивающих безопасность движения поездов [3, 4]. Хозяйство автоматики и телемеханики играет одну из главных ролей в обеспечении надежного функционирования устройств сигнализации, централизации и блокировки [3, 4, 5].

В последние годы повышенное внимание уделяется внедрению цифровых платформ для управления производственными процессами, планирования работ и мониторинга технического состояния оборудования [7, 9]. Одной из таких систем является Цифровая производственная платформа ЦПП-Ш «Эйлер», разработанная для дистанций СЦБ, служб АТ ДИ и управления автоматики и телемеханики ЦДИ [1, 2, 8].

Цель исследования – рассмотреть возможности применения ЦПП-Ш «Эйлер» в хозяйстве автоматики и телемеханики, описать её функциональные возможности, интерфейсы пользователей и влияние на повышение эффективности и безопасности работы железнодорожного транспорта.

Цифровая производственная платформа для хозяйства автоматики и телемеханики «Эйлер» (ЦПП-Ш «Эйлер») представляет собой современное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации производственных процессов и повышения эффективности управления хозяйством ЖАТ. Программное обеспечение платформы обозначается как ПО ЦПП-Ш «Эйлер».

Система применяется в дистанциях СЦБ (ШЧ, ШЧР, ИЧ), службах АТ ДИ и Управлении автоматики и телемеханики ЦДИ. Платформа обеспечивает комплексное сопровождение многих процессов, таких как мониторинг технического состояния устройств, планирование и контроль выполнения работ, а также оценку ключевых показателей эффективности.

ЦПП-Ш «Эйлер» позволяет:

- отслеживать текущее состояние объектов ЖАТ на основе результатов технической диагностики;
- контролировать выполнение плановых технических обслуживаний и ремонтов [6];
- визуализировать предоставление маршрутов на станциях и интервалов движения на перегонах;
- оценивать обеспеченность выполнения работ материалами, технологическими «окнами» и транспортом;

- получать данные о безопасности движения поездов и инцидентах, влияющих на её уровень [10].

ЦПП-Ш «Эйлер» предоставляет пользователям широкий набор инструментов для эффективного управления производственными процессами в хозяйстве автоматики и телемеханики. Платформа ориентирована на разные категории специалистов, обеспечивая каждому специфический интерфейс с необходимыми функциями.

Пользовательские интерфейсы включают авторизацию (рис. 1), личный кабинет, а также универсальные инструменты управления данными, такие как фильтрация, группировка, сортировка, закрепление столбцов и визуальное отображение сводных показателей.

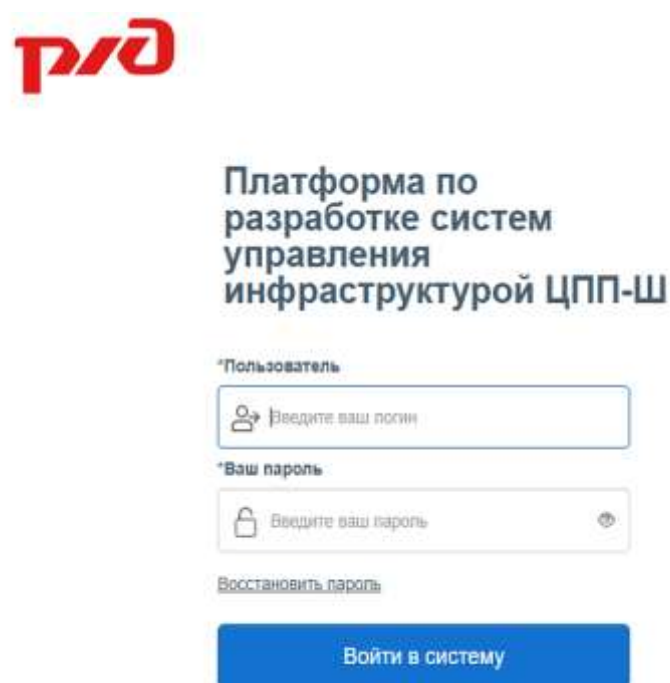


Рис. 1. Страница авторизации в ЦПП-Ш «Эйлер»

Интерфейсы по ролям обеспечивают функционал, соответствующий обязанностям сотрудников:

- Руководитель хозяйства автоматики и телемеханики может отслеживать оперативные показатели, анализировать диаграммы безопасности движения поездов, отказы технических средств, выполнение графика техпроцесса, управлять планированием и ресурсным обеспечением, а также получать данные о ключевых показателях эффективности.
- Инженер ПТО использует платформу для ведения паспортов объектов и устройств, расчета показателей отчетности АГО-5, управления техническим оснащением и контроля оргструктуры (рис. 2).

- Старший электромеханик получает доступ к планированию и контролю своих работ, анализу инцидентов и трудозатрат, а также ведению документации и справочников.
- Диспетчер дистанции осуществляет управление работами и инцидентами, контролирует ресурсное обеспечение и планирует работы на текущие сутки, месяц или год, включая создание карточек для выключений, предупреждений и технологических «окон».



Рис. 2. Главный экран инженера ПТО

Платформа также поддерживает мобильное приложение, которое позволяет пользователям выполнять некоторые важные операции на переносных устройствах, включая авторизацию, доступ к личному кабинету, управление работами и просмотр объектов (рис. 3).

Цифровая производственная платформа ЦПП-Ш «Эйлер» демонстрирует высокий потенциал для автоматизации производственных процессов в хозяйстве автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта. Система объединяет функции планирования, контроля, мониторинга и анализа данных, обеспечивая пользователям – от руководителей до инженеров и диспетчеров – удобные и наглядные инструменты для выполнения своих задач.

Применение платформы позволяет повысить эффективность работы персонала, снизить риски простоя оборудования, улучшить распределение ресурсов, а также обеспечить прозрачность процессов управления. Централизованный учет данных о состоянии устройств ЖАТ и возмож-

ность визуализации основных показателей создают условия для оперативного принятия решений и повышения надежности технических средств.

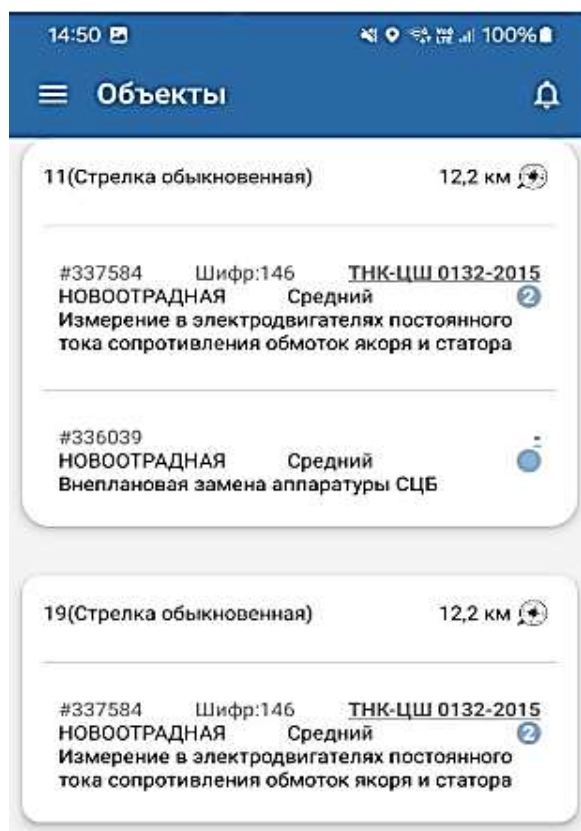


Рис. 3. Внешний вид экрана «Объекты»

Внедрение ЦПП-Ш «Эйлер» способствует укреплению безопасности движения поездов и повышению качества работы железнодорожного транспорта в целом. Дальнейшее развитие платформы и расширение её функционала позволит эффективно интегрировать цифровые технологии в управление хозяйством автоматики и телемеханики, создавая основу для современных систем железнодорожной инфраструктуры.

Библиографический список

1. Цифровая производственная платформа для хозяйства автоматики и телемеханики «Эйлер» (ЦПП-Ш «Эйлер»). Руководство пользователя 02.0121.ТДМ.РП. – Москва, 2024. – Текст : непосредственный.
2. СЦБИСТ. Цифровая производственная платформа для хозяйства автоматики и телемеханики «Эйлер» (ЦПП-Ш «Эйлер»). – URL : <https://scbist.com/avtomatizirovannyye-sistemy-oao-rzhd/62313-cifrovaya->

proizvodstvennaya-platforma-dlya-hozyaistva-avtomatiki-i-telemehaniki-eiler-cpp-sh-eiler.html. – Текст : электронный.

3. Сапожников, В. В. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. В. Сапожников, Л. И. Борисенко, А. А. Прокофьев, А. И. Каменев. – Москва : Маршрут, 2003. – 336 с. – Текст : непосредственный.

4. ОАО «РЖД». Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки [утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2015 г. № 3168р, с изм. на 13.12.2021 г. № 2803/р]. – Москва : ОАО «РЖД», 2021. – 126 с. – Текст : непосредственный.

5. Шуваев, В. А. Автоматизация формирования планов работ в ЕК АСУИ / В. А. Шуваев. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 8. – С. 25–27.

6. Киселёв, И. А. Учёт и контроль выполнения работ с использованием ЕК АСУИ / И. А. Киселёв. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 6. – С. 24–26.

7. Пультяков, А. В. Пути повышения эффективности технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики при внедрении мобильных рабочих мест / А. В. Пультяков, В. А. Аншин. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 1 (81). – С. 138–149.

8. Пультяков, А. В. Управление инцидентами при оперативном контроле состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики центрами технической диагностики и мониторинга / А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 4 (76). – С. 192–205.

9. Швалов, Д. В. Сокращение ресурсозатрат при реализации планово-предупредительного технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики на основе цифровых моделей / Д. В. Швалов. – Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. – 2022. – Том 8, № 2. – С. 178–187.

10. Пультяков, А. В. Управление инцидентами в системе технической эксплуатации микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Пультяков, Р. В. Лихота, В. А. Алексеенко. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2020. – № 1 (64). – С. 43–47.

М. В. Башаркин, Ю. В. Михайлова, Д. А. Мирошников
Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия

КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

В статье рассматривается возможность интеграции автоматизированных комплексов технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на базе беспилотных летательных аппаратов. Представлена перспективная модель технического обслуживания, ориентированная на рациональное использование производственных ресурсов.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, техническое обслуживание, совершенствование технического обслуживания, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, надёжность.

Введение. Несмотря на цифровую трансформацию хозяйства автоматики и телемеханики, основные технологические процессы, связанные с техническим обслуживанием (ТО) устройств, выполняются исключительно эксплуатационным персоналом дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Низкая автоматизация процесса ТО характерна даже для участков, оборудованных современными системами технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Даже с учетом того, что эти системы выполняют измерения большинства электрических параметров устройств ЖАТ, нагрузка на эксплуатационный персонал в части проведения измерений при ТО не снижается.

Основная часть. Процесс проведения ТО регламентируется Инструкцией по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем СЦБ [1]. Он включает в свой состав следующие основные разделы (рис. 1):

- планирование работ по техническому обслуживанию;
- исполнение;
- корректировка.

На этапе планирования формируется перечень основных работ по ТО, на основании которого разрабатываются четырехнедельный и годовой планы-графики. Планирование осуществляется с использованием автоматизированных систем (ЕКАСУИ, АСУ-Ш-2). При этом учитыва-

ются такие факторы, как класс станции, класс железнодорожной линии, наличие примыкания железнодорожных линий разных классов, а также тактовое движение пассажирских, пригородных поездов и обращение поездов «Аэроэкспресс».

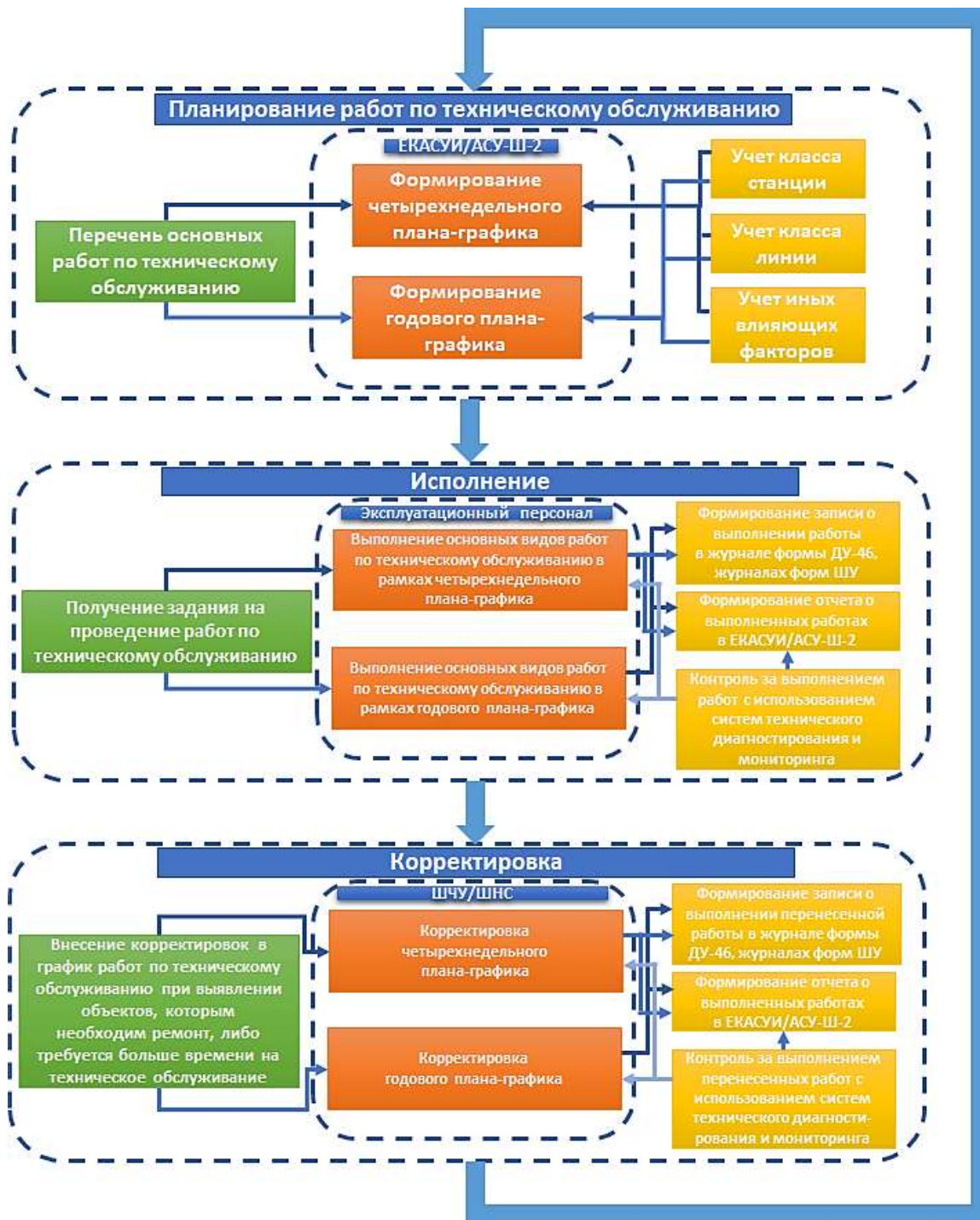


Рис. 1. Модель процесса проведения ТО устройств ЖАТ

На этапе исполнения формируется задание на проведение работ по ТО, которое получают работники из числа эксплуатационного персонала дистанций СЦБ. Результаты выполнения работ отражаются в виде записи в журнале формы ДУ-46 и журналах форм ШУ (ШУ-2, ШУ-64, ШУ-68, ШУ-78 и т. д.), а также в автоматизированных системах. На участках, оборудованных СТДМ ЖАТ, предусмотрен дополнительный контроль факта выполнения работ по ТО и правильности их выполнения.

При выявлении факторов, влияющих на увеличение времени проведения работ по ТО, а также в случае обнаружения повреждений, которые требуется немедленно устранить, осуществляется корректировка графика начальником участка (ШЧУ) или старшим электромехаником (ШНС). Этап очередного планирования работ по ТО производится уже с учётом внесённых корректировок.

Существующий подход обладает следующими недостатками:

- необходимость корректировки графика ТО устройств СЦБ в случае обнаружения повреждений, которые требуется немедленно устранить, из-за ограничения времени рабочей смены бригад;
- проведение работ на железнодорожных путях возможно только в два лица, что продиктовано требованиями охраны труда;
- риск увеличения времени проведения работ по ТО или его некачественного выполнения из-за недостаточной квалификации эксплуатационного персонала;
- низкая скорость передвижения эксплуатационного персонала между объектами, которым необходимо провести ТО.

Таким образом, в условиях цифровизации железнодорожного транспорта необходимо разработать более эффективную систему ТО устройств ЖАТ, которая будет лишена перечисленных недостатков.

Предлагаемая концепция системы базируется на классической модели ТО устройств ЖАТ, разработанной с учётом методологии управления ресурсами и рисками на основе анализа надёжности объектов железнодорожной инфраструктуры (УРРАН), применяемой в ОАО «РЖД». Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики показывает, что внедрение СТДМ ЖАТ и системы УРРАН способствовало ежегодному сокращению количества отказов технических средств. Однако в последние 3–5 лет этот темп существенно сократился, а по некоторым устройствам вышел на плато, что говорит о достижении предела возможностей существующего подхода ТО устройств ЖАТ.

Перспективная модель предусматривает интеграцию в существующую систему технического обслуживания цифровых двойников устройств ЖАТ, что позволит более точно определять показатели надёж-

ности, включая остаточный ресурс. Внедрение предиктивной аналитики в СТДМ ЖАТ позволит с высокой точностью прогнозировать отказы устройств и сделать процесс ТО по состоянию менее ресурсозатратным по сравнению с подходом, в котором используют предотказные состояния, устанавливаемые на основе эмпирического опыта и характеристик устройств. При этом наступление предотказного состояния не гарантирует последующего отказа устройства, а сам подход не позволяет определить скорость деградиационного процесса. В результате возможна как ситуация, при которой эксплуатационный персонал не успеет прибыть на место до наступления отказа, так и ложный вызов бригады, когда устройство успевает самовосстановиться до их прибытия.

Эффективность системы ТО возрастает при интеграции в неё автоматизированного комплекса на базе БПЛА (рис. 2). Скорость перемещения комплекса, которая на порядок выше скорости движения человека, и его постоянная готовность к вылету на место проведения ТО способствуют снижению отказов [2–4].

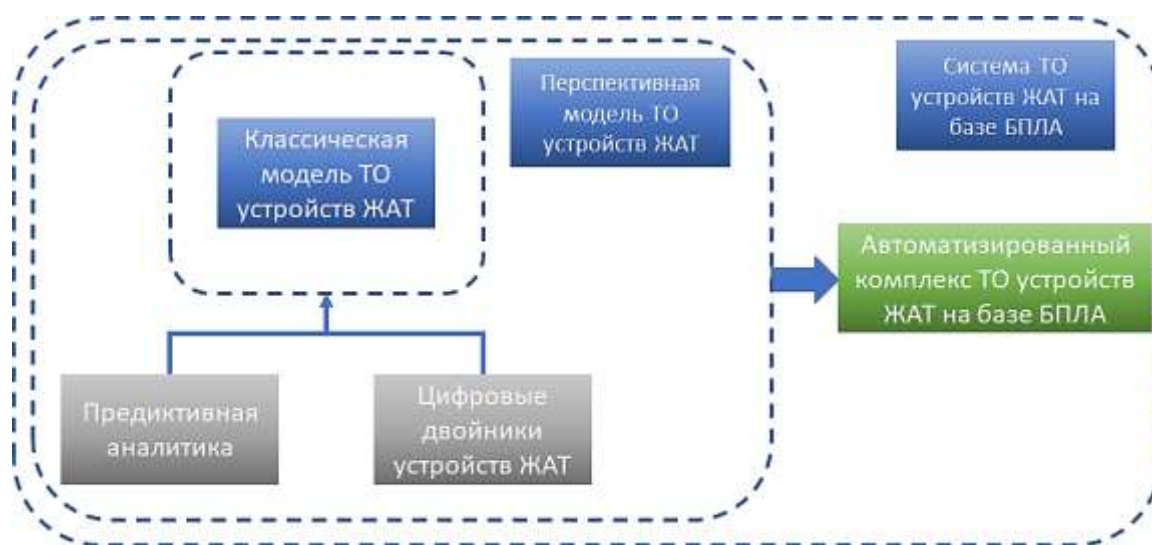


Рис. 2. Структурная схема системы ТО устройств ЖАТ на базе БПЛА

Работа автоматизированного комплекса возможна с участием оператора, управляющего БПЛА, но наибольший эффект достигается в автономном режиме работы. Однако этот режим требует разработки алгоритмов для каждого технологического процесса [5].

Заключение. В результате выполнения работы проанализирован существующий подход к ТО устройств ЖАТ и определено, что влияние человеческого фактора существенно влияет на качество и сроки выполнения технологических операций. Разработана концепция системы ТО

устройств ЖАТ на базе БПЛА, которая позволяет повысить эффективность выполнения технологических процессов.

Библиографический список

1. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки [утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 30 декабря 2015 г. № 3168р]. – Москва, 2015. – 112 с. – Текст : непосредственный.

2. Башаркин, М. В. Трансформация технологического процесса хозяйства автоматики телемеханики на основе беспилотных летательных аппаратов / М. В. Башаркин. – Текст : непосредственный // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы V всероссийской научно-практической конференции, Самара, 26–27 января 2023 г. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 142–145. – EDN CSKRIG.

3. Башаркин, М. В. Тепловизионный контроль рельсовой линии с помощью БПЛА / М. В. Башаркин, А. Г. Исайчева, Н. А. Исайчева. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 9. – С. 14–16. – DOI 10.62994/AT.2024.9.9.004. – EDN CSCRRK.

4. Мукалиева, К. И. О возможности применения БПЛА при выполнении технологических процессов хозяйства автоматики и телемеханики / К. И. Мукалиева, А. А. Могилина, М. В. Башаркин. – Текст : непосредственный // Дни студенческой науки : сборник материалов 50-й научной конференции обучающихся СамГУПС, посвящённой 50-летию СамГУПС, Самара, 04–28 апреля 2023 г. – Том 1. – Выпуск 24. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 253–255. – EDN NKENMV.

5. Башаркин, М. В. Алгоритм технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики с использованием беспилотных летательных аппаратов / М. В. Башаркин, О. К. Головнин. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2025. – № 3 (111). – С. 122–128. – EDN SABPH.

Е. М. Бушуев, Д. Н. Каратаев

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

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.

Современное оборудование безопасности движения поездов в основном состоит из полупроводниковой базы элементов, включая логические элементы. Большинство из этих элементов имеют большие плюсы в мощности и ресурсе выработки до отказа. Такие элементы гораздо меньше в габаритах и имеют меньшее энергопотребление по сравнению с системами предыдущего поколения (релейных). Стоит так же отметить, что снижение габаритов привело к ограниченной пропускаемой мощности, что привело к одному из самых больших минусов, чувствительность к перенапряжениям различного рода.

Перенапряжения в системах автоматики и телемеханики имеют разные причины, атмосферные, переходные процессы, обрыв контактного провода и др. На данный момент, согласно Методическим указаниям по применению устройств защиты от перенапряжения в устройствах ЖАТ № ЦДИ-1225 от 30.03.2021 г., применяются устройства защиты от перенапряжений (УЗП). Большинство устройств защиты от перенапряжений построены на базе разрядников и выравнивателей с оксидометаллическим элементом, что ограничивает скорость срабатывания средства защиты. Для средств защиты от импульсных перенапряжений применяются вакуумные или газонаполненные разрядники, которые обладают большей пиковой мощностью, но и большим временем срабатывания. В результате при некоторых видах перенапряжения элементы сначала пропускают импульс или ток перенапряжения и потом срабатывают. В результате часть элементов автоматики и телемеханики переходят в отказ.

На сегодняшний день многие устройства, в т. ч. и домашние, переходят на другие системы защиты. В данный момент рассмотрим разные области и их средства защиты от перенапряжений

1. Устройства для конечного потребителя

Данные устройства обладают универсальной защитой небольшой мощности, которая часто применяется для большого количества малых потребителей. На данный момент предполагается, что эти потребители находятся в защищенных помещениях и пространствах.

- Умные сетевые фильтры (Smart Surge Protectors) – данные устройства отслеживают изменения тока и напряжения, что позволяет с помощью дополнительных малых источников поддерживать питание на потребители, но в случае больших скачков может сработать медленно или уйти в отказ вместе с потребителем.

- Управление по Wi-Fi/Bluetooth – позволяют удаленно включать/выключать розетки, мониторить энергопотребление через приложение на смартфоне.

- Функция автоматического отключения при скачке – более продвинутые модели могут самостоятельно размыкать цепь при обнаружении опасного перенапряжения, даже если сам варистор еще исправен.

- Встроенные решения в UPS (ИБП) – практически все современные источники бесперебойного питания от азиатских производителей (например, CyberPower (Тайвань), APC (Schneider Electric, сильно представлены в Азии) имеют многоуровневую защиту от перенапряжений как по сетевой линии, так и по линиям данных (LAN, телефон). Используются гибридные технологии на основе варисторов и газовых разрядников.

- Защита для «умного дома» – специализированные модули, которые устанавливаются прямо в электрощиток и управляются через центральный хаб умного дома. Они защищают всю домашнюю сеть сразу.

2. Промышленные и коммерческие системы

- Устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) класса I, II, III:

- Класс I (B): устанавливаются на вводе в здание. Основная задача – отвести мощный импульс от прямого удара молнии в линию или вблизи нее. Часто используют газовые разрядники и нелинейные ограничители на основе оксида цинка (ZnO).

- Класс II (C): устанавливаются в распределительных щитах этажей или зон. Основаны на варисторах (MOV), которые справляются с остаточными бросками и коммутационными перенапряжениями.

○ Класс III (D): устанавливаются непосредственно рядом с защищаемым оборудованием (в розетках, в виде отдельных модулей). Это последний рубеж защиты, часто комбинирующий варисторы и TVS-диоды для подавления высокочастотных помех.

- Гибридные технологии: современные УЗИП часто комбинируют в одном корпусе газовые разрядники и варисторы для достижения максимальной скорости срабатывания и высокой энергии поглощения.

- Мониторинг и удаленное управление: продвинутые системы для дата-центров и промышленных объектов оснащены модулями связи (Ethernet, RS-485) для удаленного мониторинга их состояния, предупреждения о необходимости замены и интеграции в общую систему управления зданием (BMS).

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) для ВЛ и подстанций – это фарфоровые или полимерные колонки, устанавливаемые на опорах ЛЭП и в распределительных устройствах подстанций. Их сердцевина – массивный дисковый варистор из оксида цинка (ZnO). Китай является одним из мировых лидеров по производству таких устройств.

Варистор – это полупроводниковый резистор, сопротивление которого резко меняется в зависимости от приложенного напряжения. Он используется в современных микропроцессорных системах, подключённых к кабельным линиям, а также как второй этап защиты.

Различают 2 разных вида варисторов, это высоковольтные и низковольтные варисторы. Высоковольтные варисторы рассчитаны на работу в цепях до 20 кВ, а низковольтные варисторы работают в цепях от 3 до 200 Вольт.

Для защиты электронных схем и радиоаппаратуры от перенапряжения и скачков напряжения используются такие эффективные радиоэлементы, как диодный предохранитель (ПОН или TVS). Также защитный компонент известен под названиями супрессор и защитный диод. Такой эффективный прибор впервые был создан в 1968 г., в США, с целью защитить промышленное оборудование от электрических импульсов природного характера (молний).

Защитные диоды состоят из двух пластинок, выполненных из германия или кремния, обладающих разной электропроводимостью. Проволочные выводы электродов, как правило, припаиваются к металлическим слоям, нанесенным на внешние поверхности пластинок. Конструкция заключена в пластиковый, металлостеклянный или керамический корпус.

Принцип работы защитного диода основан на применении обратного пробоя. Пока напряжение не превышает номинальное значение, ограничитель никакого существенного влияния на работу схемы не ока-

зывает, но прибор перейдет в режим лавинного пробоя, как только электроимпульсная амплитуда превысит базисное напряжение. Таким образом, размер амплитуды нормируется, а все излишнее напряжение при этом уходит на землю через сам ограничитель.

Стоит разделять следующие виды защитных диодов:

- симметричные (двунаправленные) – активно эксплуатируются в цепях с двуполярным напряжением, что позволяет использовать их в сетях переменного тока;
- несимметричные (однонаправленные) – эффективно защищают цепи с напряжением одной полярности, что позволяет использовать их в сетях постоянного тока.

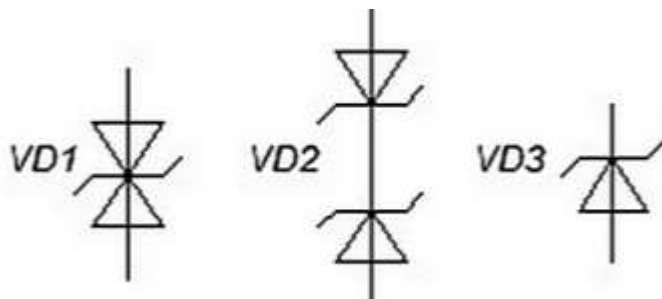


Рис. 1. Обозначения защитных диодов

На рис. 1 супрессоры обозначаются как VD1, VD2 (двунаправленные) и VD3 (несимметричные). Номинальное напряжение таких диодных предохранителей варьируется от 6,8 до 440 вольт. А рабочая температура колеблется от -65 до +175 градусов по Цельсию. Высокая скорость срабатывания надежно защищает оборудование от перенапряжения. Корпус диодного предохранителя снабжается маркировочным кодом, отображающим все важные параметры изделия.

Чтобы определить значение максимальной импульсной мощности, потребуется перемножить значение максимального пикового импульсного тока со значением максимального импульсного напряжения ограничения. Важно понимать, что все характеристики супрессора являются таковыми только в конкретных температурных условиях, поскольку при более высоких температурах токи, а также допустимая пиковая мощность будут непременно уменьшаться.

Несмотря на высокую эффективность, супрессор нельзя назвать стопроцентным защитным ограничителем. Во-первых, в положении «выключено» такие приборы характеризуются значительными обратными токами. Во-вторых, в ограничивающем режиме в прямую зависимость от силы тока попадает уровень напряжения. В-третьих, нельзя

забывать о сильной зависимости максимальной импульсной мощности от продолжительности импульса (длительности).

Для увеличения возможностей схемы используют последовательного соединения нескольких полупроводников и разных защитных элементов, что дает увеличение мощности. Защитные диоды TVS часто используют совместно с самовосстанавливающимися предохранителями либо в специальных сборках, в которые уже включены предохранители такого типа.

Таблица

Параметры защитных устройств

Параметры	Разрядники	Варисторы	Стабилитроны	Супрессоры
Диапазон рабочих напряжений, В	70–10000	1000–2000	2,4–200	0,7–3100
Диапазон времени срабатывания, нс	250–2 сек.	0,5–25	10–100	0,001–0,1
Диапазон допустимых импульсных токов, А	0,5–60000	1000	100	10–600
Межэлектродная ёмкость, пф	1–20	200–1500	20–100000	2–100000
Рабочая температура, °С	-50 ÷ +130	-40 ÷ +125	-60 ÷ +170	-60 ÷ +170

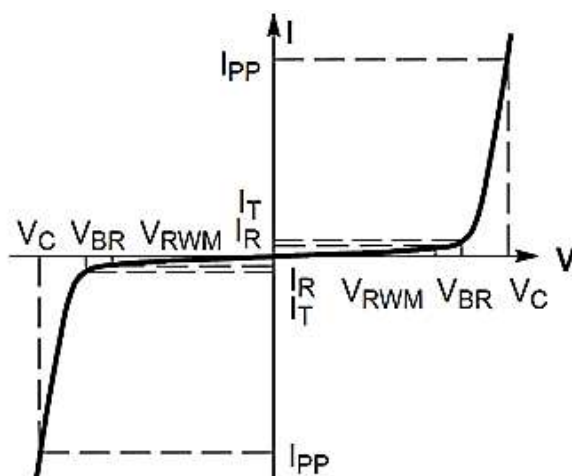


Рис. 2. ВАХ симметричного супрессора

Двунаправленные диоды TRANSILTM 1.5KE440CA с успехом применяются для защиты бытовой электронной аппаратуры в сетях 220 вольт. Их применение наиболее эффективно для защиты объектов, которые подключены к воздушным линиям. В этом случае будет защита и от атмосферных электрических импульсов и от импульсных перенапряжений по цепям питания.

Библиографический список

1. Вагин, Г. Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике : учебное пособие / Г. Я. Вагин, А. Б. Лоскутов, А. А. Севостьянов. – Н. Новгород : Издательство НГТУ, 2004. – 214 с. – Текст : непосредственный.
2. Карякин, Р. Н. Справочник по молниезащите / Р. Н. Карякин. – Москва : ЗАО Энергосервис, 2005. – 879 с. – Текст : непосредственный.
3. Сороко, В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики : справочник [в 2 кн.]. Кн. 2 / В. И. Сороко, Е. Н. Розенберг. – Издание 3-е. – Москва : НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – 1008 с. – Текст : непосредственный.
4. Супрессор. Защитный диод: база данных, содержащая устройства защиты от перенапряжения. – Электр. дан. – URL : <http://go-radio.ru/supressor.html>. – Текст : электронный.
5. Полупроводниковая защита: обзор основных серий TVS-диодов: база данных, содержащая устройства защиты от перенапряжения. – Электр. дан. – URL : <https://www.compel.ru/lib/ne/2014/12/5-poluprovodnikovaya-zashhita-obzor-osnovnyih-seriy-tvs-diodov-ot-littelfuse>. – Текст : электронный.

М. В. Востриков

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

С. С. Днепровский

*ОДГ ЗабНТЭ – СП «Трансэнерго» – филиал ОАО «РЖД»,
г. Чита, Россия*

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И КАЧЕСТВЕННОЕ ПОВЫШЕНИЕ
НАДЁЖНОСТИ ГАРАНТИЙНОГО ПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ СЦБ
ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРА АКТИВНЫХ ГАРМОНИК
В ЦЕПЯХ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

В статье рассматриваются вопросы возможного повышения качества и надёжности гарантийного питания устройств СЦБ за счёт использования фильтра активных гармоник в цепях собственных нужд тяговых подстанций переменного тока. Также рассматриваются технические возможности по снижению общего числа аварийных отключений микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети за счёт нормирования показателей качества электроэнергии,

в т. ч. и при рекуперативном торможении тяжеловесных и длиннооставных поездов на горно-перевальных участках.

Ключевые слова: рекуперативное торможение, фильтр активных гармоник, качество электрической энергии, тяговая подстанция, имитационная модель, микропроцессорная релейная защита, собственные нужды.

В настоящее время качество электрической энергии (КЭЭ) – одна из основных проблем в системе тягового электроснабжения железных дорог переменного тока, влияющая на нормальные режимы работы электрооборудования, электросетей, устройств релейной защиты и автоматики. ГОСТ 32144-2013 [1] регламентирует нормы на показатели качества электроэнергии, такие как: отклонение частоты; медленные изменения напряжения; несинусоидальность напряжения и токов; гармонические составляющие напряжения и токов; несимметрия напряжений и токов и т. д.

Целями данного исследования являются:

- изучение влияния рекуперативного торможения на энергоэффективность и качество электроэнергии в цепях собственных нужд тяговых подстанций переменного тока;
- анализ имеющихся технических средств, направленных на повышение уровня качества электроэнергии и надежности электроснабжения napольных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ);
- оценка потенциала использования фильтра активных гармоник (ФГА) на тяговых подстанциях переменного тока, в т. ч. расположенных в горно-перевальной местности.

Одной из причин, вызывающих отклонения норм качества электроэнергии в контактной сети и сетях, питающих устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, является использование рекуперативного торможения длиннооставными и тяжеловесными поездами [2]. Более подробно влияние рекуперации на примере горно-перевального участка Забайкальской железной дороги Сохондо – Чита I уже было рассмотрено в [3]. В настоящее время на участке Могзон – Чита I, согласно [4], четко определены разрешенные места применения рекуперативного торможения локомотивными бригадами (см. рис. 1), однако зачастую эти требования не исполняются. Это, в свою очередь, приводит к увеличению числа ложных и аварийных срабатываний микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети [5] (см. рис. 2), возникновению аварийных режимов работы napольных устройств ЖАТ, получающим питание по линиям ВЛ СЦБ – 6 (10) кВ, которые в свою очередь запитываются от шин 0,4 кВ СН ТП Лесная через повышающий трансформатор.

Станция	Расстояние	Направление пути
Тайдут / Могзон	6046 км / 6051 км	Четное
Гонгота / Сохондо	6088 км / 6094 км	Четное
Тургутуй / Яблоновая / Лесная	6107 км / 6139 км	Четное
Лесная / Домна	6148 км / 6154 км	Четное
Домна / Черновская	6167 км / 6168 км 6172 км / 6174 км	Четное
Черновская / Кадала	6181 км / 6186 км	Четное
ст. Чита I	6193 км / 6194 км	Четное

Рис. 1. Разрешенные места применения рекуперативного торможения на участке Могзон – Чита I

Месяц	Число отключений	АПВ	Причина
Январь	3	3+	Не установленная (3) На участке большое скопление поездов
Февраль	3	2+ 1-	Нагрузка Не установлена (2)
Март	4	1+ 3 вывод	Нагрузка Не установлена (3)
Апрель	4	1- 3 вывод	Не установлена (2) Причина со стороны внешнего электроснабжения (2)
Май	9	8+ 1-	Не установлена (8) Неисправность электровоза
Июнь	4	4+	Не установлена (3) Самоход ФЛ 31
Июль	5	3+ 1- 1 вывод	Не установлена (4) Электровоз – излом токоприемника

Рис. 2. Статистика аварийных отключений микропроцессорной релейной защиты ФКС ТП Лесная за первое полугодие 2024 г.

В низковольтных промышленных электрических сетях хорошо зарекомендовали себя фильтры активных гармоник (производство АО «ЭЛЕКТРОМАШ») [6] (см. рис. 3), успешно выполняющие следующие задачи:

- компенсация реактивной мощности;
- оптимизация нагрузок в различных фазах;
- улучшение качества подаваемой электроэнергии;
- исключение явлений резонанса.

Входные параметры	
Номинальное напряжение	380 В
Номинальное входное напряжение (фазное / межфазное)	176-253 / 304-437 В
Частота входного напряжения	50 Гц
Выходные параметры	
Номинальный ток	150 А
Номинальное выходное напряжение (фазное / межфазное)	220 / 380 В
Частота выходного напряжения	50 Гц
Масштабируемость	до 6 модулей, возможно подключение разных номиналов
Частота переключения	20 Гц
Полное время отклика, не более	5 мс
Мгновенное время отклика, не более	20 мкс
КПД, не менее	97 %
Топология схемы	трехуровневая
Компенсруемые гармоники тока	со 2 по 50.
Требуемый коэффициент мощности	Плавное регулирование от -1 до 1
Компенсация дисбаланса, не более	1,5%
Эффективность фильтрации гармоник, более	97%
Коррекция компенсации реактивной мощности, более	99%

Рис. 3. Основные рабочие параметры и характеристики ФГА-0,4-150-100 У3

В ходе комплексного подхода к решению проблемы нормирования параметров качества электрической энергии на ТП Лесная, совместно со специалистами ДКЭЛ ЗабНТЭ, к реализации было предложено техническое решение о совместном использовании фильтра активных гармоник (ФГА-0,4-150-100 У3) и стабилизатора напряжения (СПН-М-160/380-Т-У3). В ходе дальнейшей эксплуатации питаемых от тяговой подстанции напольных устройств ЖАТ (с сентября 2024 г. по н. в.) отклонений в их работе по причинам, связанным с КЭЭ не отмечалось.

Поскольку большая часть проектной и рабочей документации, принципиальные и электрические схемы ФГА являются авторской собственностью АО «ЭЛЕКТРОМАШ» и отсутствуют в широком доступе, была разработана альтернативная имитационная модель устройства фильтра активных гармоник (см. рис. 4) на основе управления широтно-импульсными модулированными сигналами (ШИМ). Транзисторы каждого плеча управляются от схемы управления противофазными, широтно-импульсными модулированными сигналами (ШИМ). Работа транзисторных плеч во времени сдвинута на 120 градусов.

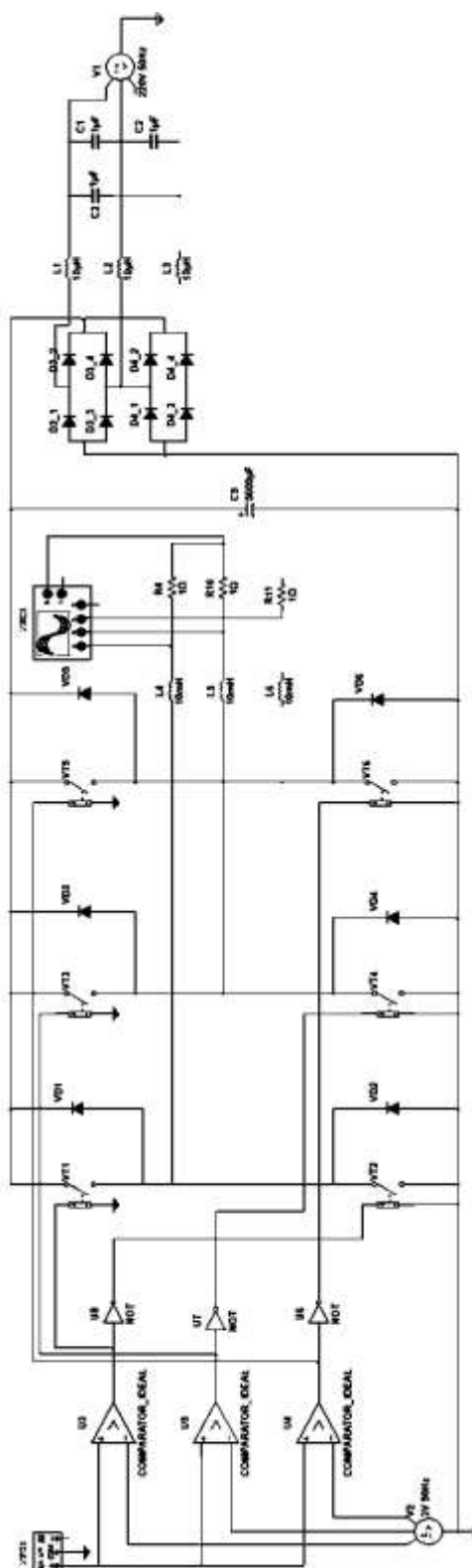
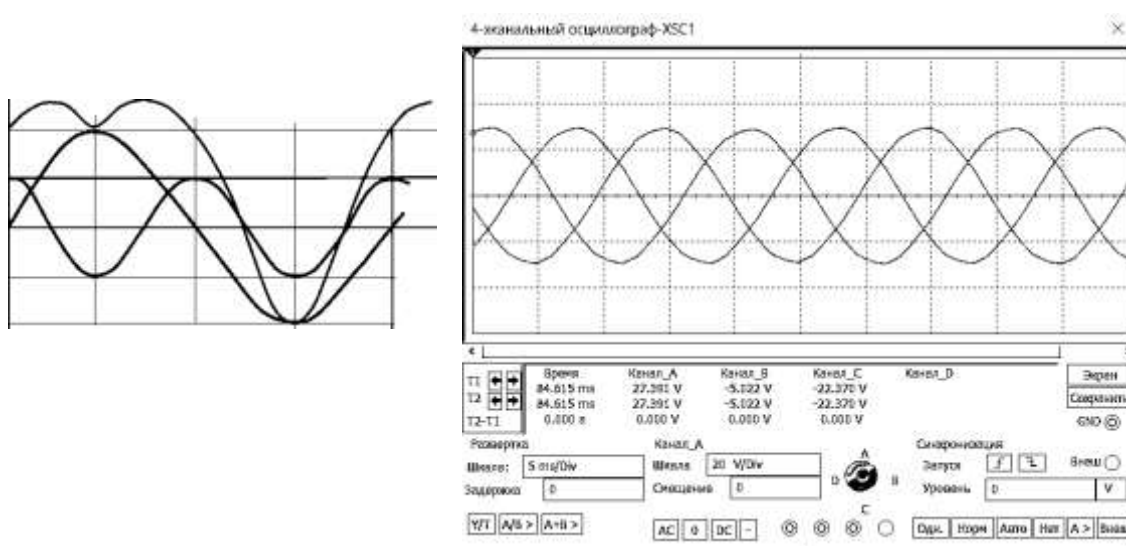


Рис. 4. Имитационная модель предлагаемого альтернативного устройства фильтра активных гармоник: C1-C3 – конденсаторы фильтрующие; L1-L3 – индуктивности фильтрующие; D3_1-D4_4 – выпрямитель трехфазный двухполупериод-

ный; C5 – конденсатор сглаживающий; VT1-VT6 – инвертор трехфазный мостовой на IGBT транзисторах; V2 – источник переменного напряжения трехфазный опорный; XFG1 – источник сигнала треугольной формы; U3-U5 – компараторы для получения ШИМ сигнала; U6-U8 – инверторы

Получение ШИМ сигнала осуществляется путем сравнения синусоидального и пилообразного сигналов на компараторе. Частота синусоидального сигнала выбирается равной частоте сигнала на выходе инвертора, а амплитуда чуть менее амплитуды пилообразного сигнала. Длительность пилообразного сигнала составляет 50 %, а его частота зависит от качества желаемого сигнала на выходе инвертора. Результаты работы имитационной модели ФГА приведены на рис. 5.



Форма сигналов напряжений по фазам, подаваемая на вход имитационной модели

Форма сигналов напряжений по фазам, получаемая на выходе имитационной модели

Рис. 5. Результаты имитационного моделирования работы ФГА

Заключение

В данном исследовании был рассмотрен вопрос возможности и целесообразности использования фильтров активных гармоник в цепях собственных нужд тяговых подстанций для выравнивания несимметрии напряжения и повышения качества электрической энергии в сети ВЛ СЦБ на примере ТП Лесная Забайкальской железной дороги.

Была разработана имитационная модель устройства, результаты моделирования подтверждают высокую эффективность работы фильтров активных гармоник для решения указанных задач.

Следующим этапом исследования будет изучение возможности и эффективности использования фильтров активных гармоник для устранения ложных и аварийных срабатываний устройств микропроцессорной релейной защиты.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 16 с. – Текст : непосредственный.

2. ГОСТ Р 57670-2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы тягового электроснабжения железной дороги. Методика выбора основных параметров. The railway track power supply systems. The methods of selecting fundamental parameters. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 49 с. – Текст : непосредственный.

3. Востриков, М. В. Оценка влияния показателей качества электрической энергии на тягу поездов на примере участка Чита-I – Сохондо / М. В. Востриков, Л. А. Муравейко, Е. А. Морозов. – Текст : непосредственный // Образование – наука – производство : материалы V всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Чита, 07 октября 2021 г. Том 1. – Чита : ЗаБИЖТ ИрГУПС, 2021. – С. 81–87.

4. Приказ № ЗАБ-184 от 01.07.2024 г. Инструкция по управлению тормозами железнодорожного подвижного состава на Забайкальской железной дороге. – Чита : ЗабЖД, 2024. – 108 с. – Текст : непосредственный.

5. Инструкция по оперативному обслуживанию устройств РЗА АЗм на ЗабЖД. – Чита : ЗаБНТЭ, 2020. – 12 с. – Текст : непосредственный.

6. Группа «РУСЭЛТ», АО «ЭЛЕКТРОМАШ». – URL : https://www.ruselt.ru/catalog/filtry_aktivnykh_garmonik/150_100_u3/#tabs (дата обращения: 20.10.2025 г.). – Текст: электронный.

Н. В. Гульмамедов

*Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

ОЦЕНКА ДОВЕРИЯ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ В КОНТЕКСТЕ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Для обеспечения безопасности перевозок в сфере железнодорожного транспорта программное обеспечение систем обеспечения движения поездов играет большую роль. Вопрос доверия к программному обеспечению имеет большое значение. На безопасность перевозок оказывают сильное влияние такие параметры, как надёжность, предсказуемость и защищённость используемого программного обеспечения. В статье рассматриваются стандарты и другие нормативно-правовые акты, регламентирующие оценку доверия программного обеспечения. Приводятся оценочные уровни доверия для увеличения гарантии безопасности. Анализируются основные элементы оценки процесса разработки и наиболее применяемые инструменты и техники.

Ключевые слова: доверенное программное обеспечение, процесс разработки, уровни доверия, инструменты.

В рамках проведения исследования существующих нормативно-правовых актов, при поиске отдельно выделенного термина «доверенное программное обеспечение» в действующих федеральных законах или постановлениях российского правительства был сделан вывод, что на сегодняшний день данный термин отсутствует. Однако, в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1–2012 «Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий» [1] 1–3 части (далее – стандарт 15408) было обнаружено следующее определение:

«Доверенный продукт ИТ: Продукт информационных технологий, отличный от объекта оценки, для которого имеются свои функциональные требования, организационно скоординированные с объектом оценки, и который, как предполагается, реализует свои функциональные требования корректно» [1].

В стандарте 15408 предлагается использование разрешенных операций, в контексте доработки функциональных компонентов и компонентов доверия. Доверие, классифицируется на основе критерия, называемого «Оценочный уровень доверия» (далее – ОУД), и определяется в третьей части стандарта 15408.

Всего различают семь предопределённых уровней доверия (ОУД1-ОУД7), каждый из которых характеризуется набором требований, увеличивающимся по глубине и строгости проверок и тестов. Чем выше уровень доверия, тем сильнее гарантии безопасности [2].

Рассмотрим ОУД и их описание, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Уровни доверия ОУД

Уровень доверия	Описание
Оценочный уровень доверия 1	Минимальный уровень доверия, включающий лишь базовые тесты и обзоры документации
Оценочный уровень доверия 2	Включает углубленный анализ документации и некоторые проверки проектов
Оценочный уровень доверия 3	Дополняется дополнительными видами тестирования и формализованными доказательствами соответствия
Оценочный уровень доверия 4	Наиболее распространённый уровень, применяемый для большинства коммерческих приложений. Включает широкий спектр тестов и проверок
Оценочный уровень доверия 5	Оценка эффективности тестов, их полноты и глубины, выявление дефектов и уязвимостей
Оценочный уровень доверия 6	Повышенный уровень доверия, используемый для специализированных приложений, таких как банковские системы и телекоммуникации
Оценочный уровень доверия 7	Максимальный уровень доверия, предназначенный исключительно для чрезвычайно важных систем безопасности

В контексте стандарта 15408 оценка процесса разработки направлена на повышение доверия к объекту оценки путём изучения этапов и методик, применяемых при его создании. Рассмотрим, как в стандарте 15408 определяется оценка процесса разработки и какие факторы учитываются при проведении оценки [2].

Процесс разработки в стандарте 15408 разбит на этапы, каждый из которых изучается отдельно. В табл. 2 приведены основные элементы, подлежащие изучению.

Таблица 2

Основные элементы оценки процесса разработки

Элемент оценки	Содержание
Управление проектом	Оценка процессов планирования, мониторинга и контроля всего жизненного цикла разработки ПО

Окончание табл. 2

Элемент оценки	Содержание
Анализ требований	Изучение точности и полноты требований, их соответствия назначению объекта
Проектирование и архитектура	Анализ архитектуры, дизайна и структуры объекта. Выявление слабых мест и узких точек
Реализация	Проверка соблюдения принятых практик разработки, тестирование, рефакторинг и интеграция компонентов
Тестирование	Оценка эффективности тестов, их полноты и глубины, выявление дефектов и уязвимостей
Документирование	Проведение оценки качества документации (технической, пользовательской): ее полноты и удобства использования

Для проведения оценки процесса разработки рассмотрим наиболее применяемые инструменты и техники:

1. Интервьюирование сотрудников: получение информации о процессах и практиках, используемых в команде разработчиков.

2. Исследование документации: анализ проектной документации, моделей данных, отчетов по тестированию и другой сопутствующей документации. Проверка инструментов разработки: Оценка применяемых IDE, систем контроля версий, инструмента тестирования и автоматизации сборки.

3. Код-ревью: экспертиза исходного кода и архитектуры, выявление потенциальных уязвимостей и несоответствий.

4. Методики анализа угроз: изучение модели угроз и рисков, принятие мер по снижению угроз.

Однако, 16 сентября 2025 г. был опубликован на рассмотрение, проект постановления правительства РФ «О доверенных российских программах для электронных вычислительных машин и баз данных» [3].

Постановление правительства поставит точку в вопросе определения доверенного программного обеспечения, путем введения соответствующих понятий и терминов, а также внедрения перечня доверенных программ для электронных вычислительных машин и баз данных.

Определены требования, к доверенному Российскому программному обеспечению [3]:

1. Совместимо с отечественным оборудованием (микропроцессорами) и другими продуктами (операционными системами) из реестра российского программного обеспечения;

2. Если программное обеспечение реализует функции защиты, то обязательна сертификация средств защиты информации;

3. Поддерживаются форматы Open Document Format (ODF), Portable Document Format (PDF/A-1), а также форматы Microsoft Office;
4. Нет скрытых возможностей передачи данных за границу;
5. Возможность проверки подлинности лицензий и подписей разработчиков;
6. Продукт разрабатывается исключительно в России;
7. Все исходники находятся на территории РФ;
8. Информация о программе публикуется на официальных сайтах, в открытых источниках;
9. Используются российские базы данных, инструменты тестирования и разработки.

В постановлении используются наименования классов программного обеспечения, в соответствии с классификатором программ для электронных вычислительных машин и баз данных, таких как [3]:

1. Программное обеспечение;
2. Системное программное обеспечение;
3. Офисное программное обеспечение;
4. Средства обеспечения информационной безопасности;
5. Промышленное программное обеспечение.

С 01.10.2025 г. вводится новый стандарт ПНСТ 1009–2025, устанавливающий общие положения в области программного обеспечения для применения к доверенным программно-аппаратным комплексам.

Для признания программно-аппаратного комплекса (далее – ПАК) доверенным, необходимо выполнить ряд требований [4]:

1. Программно-аппаратный комплекс находится в реестре радиоэлектронной продукции;
2. Программное обеспечение ПАК зарегистрировано в реестре российского программного обеспечения или в реестре программ для электронных вычислительных машин и баз данных;
3. Если программно-аппаратный комплекс реализует функцию защиты информации, то должен иметь сертификат ФСТЭК и/или ФСБ.

Также проведена классификация программного обеспечения для доверенных ПАК [4]:

1. Встроенное, обеспечивающее функционирование системы;
2. Системное, управляющее комплексом и его элементами;
3. Прикладное, выполняющее прикладные задачи;
4. Специальное, для выполнения специфических функций;
5. Репозиторий, реализующее инфраструктуру разработки.

В заключение можно сделать вывод о том, что, несмотря на отсутствие четкого термина «доверенное программное обеспечение» в Рос-

сийском законодательстве и стандартах, Минцифры России делает большую работу по изменению данной ситуации: внедряют законодательные и технические меры по ведению реестра такого программного обеспечения и его категорирование на разные типы. Что особенно важно для обеспечения безопасности перевозок в сфере железнодорожного транспорта. В свою очередь, проведя анализ ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3 можно сказать, что стандарт описывает более точные критерии доверия, применительно к программному обеспечению. Новый стандарт ПНСТ 1009–2025 регламентирует условия для признания программно-аппаратных комплексов доверенными и порядок ведения реестра такого программного обеспечения.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1–2012. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Часть 1. Общие критерии оценки безопасности информационных технологий. – Москва, 2014. – 164 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3–2012. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Часть 3. Методы оценки безопасности информационных технологий. – Москва, 2013. – 208 с. – Текст : непосредственный.
3. Проект постановления Правительства Российской Федерации «О доверенных российских программах для электронных вычислительных машин и баз данных». 16.09.2025. – URL : <https://regulation.gov.ru/projects/160230/> (дата обращения: 01.10.2025). – Текст : непосредственный.
4. ПНСТ 1009–2025. Критическая информационная инфраструктура. Программное обеспечение для доверенных программно-аппаратных комплексов. Общие положения. – Москва, 2025. – 8 с. – Текст : непосредственный.

Н. С. Гуляева, Ф. А. Дранишников
Красноярский институт железнодорожного транспорта,
г. Красноярск, Россия

РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ В СНИЖЕНИИ ВЫБРОСОВ CO₂ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

В условиях глобальной борьбы с изменением климата снижение выбросов углекислого газа играет ключевую роль. В связи с тем, что железнодорожный транспорт является одним из источников выбросов

парниковых газов, декарбонизация становится основой для низкоуглеродного будущего. Электрификация железных дорог – высокоэффективное решение, которое уже сегодня позволяет значительно снизить углеродный след от грузовых и пассажирских перевозок. Важно отметить, что железнодорожный транспорт уже является одним из самых экологичных видов транспорта, но переход с дизельной на электрическую тягу позволит преумножить это преимущество.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, электрификация, низкоуглеродное будущее, декарбонизация.

Выбросы углекислого газа в атмосферу происходят как из-за естественных процессов, таких как разложение органических организмов или извержения вулканов, так и из-за антропогенных – сжигание ископаемого топлива, промышленные процессы. Именно антропогенные процессы приводят к резкому увеличению углекислого и других парниковых газов. Эти газы скапливаются в атмосфере при этом задерживая часть теплового излучения от поверхности земли, что создаёт «эффект одеяла» и увеличивает скорость глобального потепления. Основная проблема, связанная выбросом CO₂ заключается именно в усилении парникового эффекта. Глобальное потепление опасно повышением средней температуры что способствует таянию ледников и увеличению уровня Мирового океана.

Транспортная отрасль, в частности железнодорожный транспорт оказывает значительное влияние на выбросы углекислого газа, но при этом имеет потенциал для снижения углеродного следа.

Таблица 1

Данные по выбросам для основных видов техники

Вид транспорта	Выбросы
Поезд	19 граммов углекислого газа в CO ₂ -эквиваленте на пассажиро-километр за жизненный цикл
Самолет	123 грамма углекислого газа в CO ₂ -эквиваленте на пассажиро-километр за жизненный цикл
Автомобиль (небольшой/средний)	148 граммов углекислого газа в CO ₂ -эквиваленте на пассажиро-километр за жизненный цикл

При путешествии на одинаковую дистанцию в расчете на одного пассажира поезд обычно производит на 85 % меньше углекислого газа, чем самолет, и на 87 % меньше, чем автомобиль [1].

В отличие от авиационного и автомобильного транспорта, которые сильно зависят от нефтепродуктов железнодорожный транспорт уже ак-

тивно использует электрическую энергию в качестве одного из видов тяги, что открывает путь к его полной декарбонизации. По сравнению с дизельными поездами электровозы не производят прямых выбросов CO_2 , поскольку энергия подаётся через контактную сеть

Экологическое благополучие – одна из важнейших задач нынешнего времени [2]. На компании ОАО «РЖД» как на крупнейшем перевозчике лежит ответственность за состояние окружающей среды и минимизацию пагубного воздействия на природу. На данный момент рельсовый транспорт признан одним из наиболее экологичных видов транспорта по данным на ноябрь 2024 г., выбросы парниковых газов от деятельности РЖД составляют менее 1 % от общего объема выбросов CO_2 в стране [3]. Добиться таких показателей компания смогла благодаря внедрению различных мер, ключевой из которых, стала электрификация участков железной дороги. Например, в 2024 г. было введено в эксплуатацию более 800 километров электрифицированных путей, что позволило сократить использование дизельного топлива на этих участках [4]. По мере перехода на электрифицированные участки железной дороги углеродный след будет стремиться к нулю. Таким образом развитие электрической тяги – это вклад в создание устойчивой и экологически чистой системы. Компания активно работает над, тем чтобы поддерживать высокий уровень экологической безопасности и к 2050 г. планирует достигнуть углеродной нейтральности.

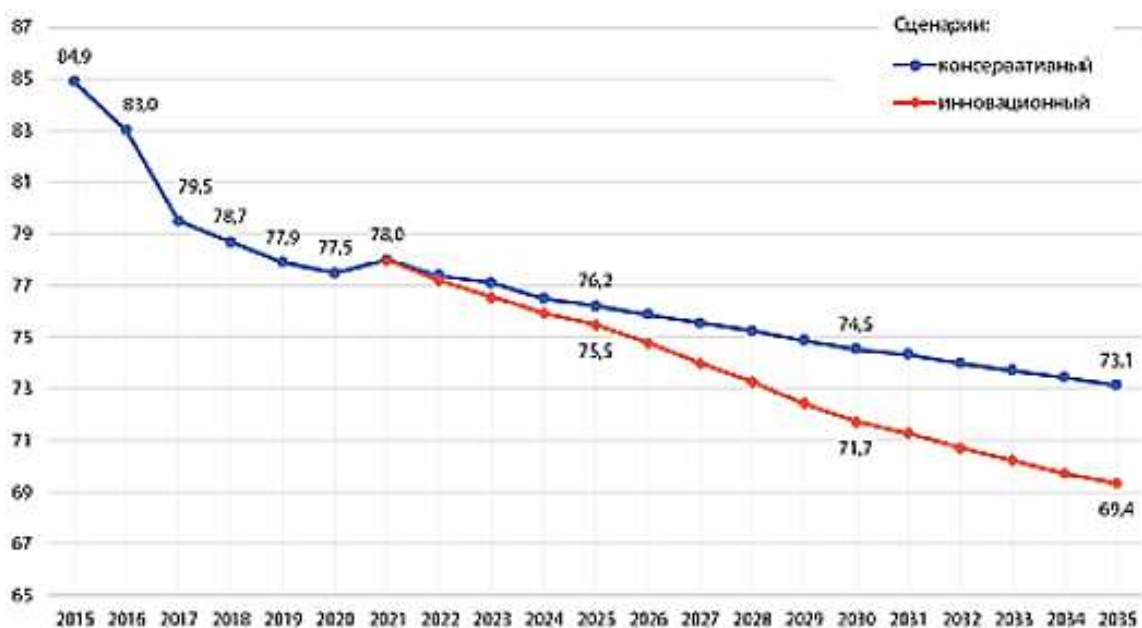


Рисунок. Прогнозные показатели на 2030 и 2035 гг.
(кг CO_2 -экв. / 10000 прив. т-км (брутто))

На неэлектрифицированных участках железной дороги используются дизельные локомотивы, которые сжигают топливо в процессе движения и выделяют в атмосферу CO_2 . Для количественной оценки воздействия на окружающую среду подвижного состава, работающего на дизельном топливе, можно использовать формулу расчета валовых выбросов CO_2 :

$$E_{\text{CO}_2} = B * K_{\text{топ}} * Q_i * K_{\text{ох}} * \frac{44}{12},$$

где E_{CO_2} – валовый выброс диоксида углерода, т;

B – расход дизельного топлива, т;

$K_{\text{топ}}$ – поправочный коэффициент для данного типа топлива;

Q_i – теплота сгорания топлива, МДж-/кг;

$K_{\text{ох}}$ – коэффициент окисления углерода в топливе;

$\frac{44}{12}$ – стехиометрический коэффициент перевода углерода в CO_2 .

Применение данной формулы на практике позволяет наглядно оценить, какой объем выбросов удастся предотвратить за счет перевода участка на электрическую тягу, где прямые выбросы CO_2 равны нулю.

Электрификация позволяет значительно уменьшить объем выбросов CO_2 путём перехода от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии. Дизельный локомотив зависит от дизельного топлива в то время, как электровоз может потреблять электроэнергию, полученную из различных источников таких как атомная электростанция, гидроэлектростанция. Ключевым преимуществом электрической тяги является не только высокий КПД самого электродвигателя (до 90–95 %), но и возможность снижения удельной углеродоемкости перевозок.

Таблица 2

Сравнение выбросов электровоза и дизельного состава

Вид подвижного состава	Выбросы в атмосферу CO_2 , тыс. т
Дизельный локомотив	29,4
Электровоз	не производит выбросы во время эксплуатации

Таким образом, электрификация железных дорог представляет собой стратегически проверенное и наиболее эффективное на сегодняшний день решение для декарбонизации транспортной отрасли. По мере перехода на электрифицированные участки железной дороги углеродный след будет стремиться к нулю. Деятельность ОАО «РЖД» показывает, что электрификация железных дорог – это медленный, но верный

путь к снижению углеродного следа. Достижения цели углеродной нейтральности к 2050 г. требует планомерной работы по электрификации как можно большего количества железных дорог. Таким образом, электрификация железных дорог представляет собой проверенное и перспективное решение, способное обеспечить значительный вклад в достижение национальных климатических целей и формирование устойчивой транспортной системы будущего.

Библиографический список

1. The International Energy Agency Well-to-wheel (wake/wing) GHG intensity of motorised passenger transport modes / The International Energy Agency // The International Energy Agency : [сайт]. – URL : <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/well-to-wheel-wakewing-ghg-intensity-of-motorised-passenger-transport-modes-2>. – Текст : электронный.
2. Защита окружающей среды и экологические проекты в железнодорожной отрасли // Объединение производителей железнодорожной техники : [сайт]. – URL : <https://opzt.ru/news/zashhita-okruzhajushhej-sredy-i-ekologicheskie-proekty-v-zheleznodorozhnoj-otrasli>. – Текст : электронный.
3. Васильева, Алина. ОАО «РЖД» планирует достичь полной углеродной нейтральности / Алина Васильева – Текст : электронный // ГУДОК : [сайт]. – URL : https://www.gudok.ru/content/arkhivnye_rubriki/sujet/eco/1690259/?sphrase=0.
4. Железнодорожные перевозки стали экологичнее // [rusbiletnapoezd](https://rusbiletnapoezd.ru/articles/zeleznodoroznye-perevozki-stali-ekologicnee-snizenie-vybrosov-na-40) : [сайт]. – URL : <https://rusbiletnapoezd.ru/articles/zeleznodoroznye-perevozki-stali-ekologicnee-snizenie-vybrosov-na-40>. – Текст : электронный.

В. Е. Домаев, А. С. Ширнин

*Красноярский институт железнодорожного транспорта –
филиал ФГБОУ ВО ИрГУПС,
г. Красноярск, Россия*

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПЕРВОЙ КАТЕГОРИИ
ЧЕРЕЗ ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА**

Рассматриваются современные подходы к повышению надёжности электроснабжения потребителей первой категории посредством применения интеллектуальных систем автоматического ввода резерва.

Проанализированы технические требования к электроснабжению критически важных объектов, исследованы принципы построения автоматизированных систем управления электроснабжением и возможности применения интеллектуальных технологий для обеспечения бесперебойного питания. Представлены результаты сравнительного анализа традиционных и интеллектуальных систем АВР, выявлены преимущества внедрения современных решений в области электроснабжения ответственных групп электроприемников.

Ключевые слова: электроснабжение первой категории, автоматический ввод резерва, интеллектуальные системы электроснабжения, надежность электроснабжения, системы автоматизации, резервирование источников питания, диспетчеризация электроснабжения.

Введение

Обеспечение надежного электроснабжения критически важных объектов является приоритетной задачей современной электроэнергетики. Потребители первой категории – медицинские учреждения, диспетчерские пункты, объекты связи, промышленные предприятия с непрерывным технологическим циклом – предъявляют особые требования к качеству и бесперебойности электроснабжения. Перерыв в подаче электроэнергии может повлечь угрозу для жизни людей, значительный материальный ущерб или нарушение функционирования критически важной инфраструктуры.

Актуальность исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, наблюдается стремительный рост количества объектов, предъявляющих повышенные требования к надежности электроснабжения. Развитие информационных технологий, цифровизация производственных процессов, расширение сети дата-центров и увеличение числа медицинских учреждений с высокотехнологичным оборудованием требуют качественно нового уровня обеспечения бесперебойного электроснабжения. Во-вторых, существующая инфраструктура электроснабжения во многих случаях морально и физически устарела, что приводит к росту числа аварийных отключений и снижению общей надежности систем электроснабжения. В-третьих, традиционные системы автоматического ввода резерва имеют ограниченные возможности по контролю состояния оборудования и не позволяют реализовать превентивные стратегии обслуживания. В-четвертых, экономические потери от перерывов электроснабжения критически важных объектов достигают значительных масштабов, что делает экономически целесообразным внедрение более совершенных технических решений. Применение интеллектуальных си-

стем управления электроснабжением позволяет существенно повысить надежность энергоснабжения при оптимизации эксплуатационных затрат, что определяет практическую значимость настоящего исследования.

Целью настоящего исследования является анализ современных подходов к повышению надежности электроснабжения потребителей первой категории на основе внедрения интеллектуальных систем автоматического ввода резерва и оценка эффективности применения таких систем для различных типов объектов.

Методология исследования

В рамках исследования применялся комплексный подход, включающий анализ нормативно-технической документации, изучение отечественного и зарубежного опыта эксплуатации систем электроснабжения первой категории, а также сравнительный анализ технических характеристик традиционных и интеллектуальных систем автоматического ввода резерва. Проведен анализ требований Правил устройства электроустановок к системам электроснабжения различных категорий надежности, исследованы особенности построения систем резервирования для критически важных объектов.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ показал, что обеспечение требуемого уровня надежности электроснабжения потребителей первой категории достигается применением комплекса технических и организационных мер [4]. Ключевым элементом системы является устройство автоматического ввода резерва, которое обеспечивает переключение нагрузки на резервный источник питания при отказе основного источника [9]. Современные интеллектуальные системы АВР существенно превосходят традиционные решения по функциональным возможностям и надежности. Основные технические характеристики систем электроснабжения первой категории представлены в следующей таблице. Сравнение различных уровней надежности позволяет оценить требования к оборудованию и структуре системы электроснабжения в зависимости от категории потребителей (табл. 1).

По результатам анализа данных табл. 1 установлено, что требования к надежности электроснабжения для потребителей первой категории являются наиболее строгими [8]. Особая группа электроприемников первой категории требует наличия третьего независимого источника питания, что обусловлено критичностью последствий перерыва электроснабжения [4]. Время автоматического переключения на резервный источник для особой группы не должно превышать 0,5 секунды, что

накладывает жесткие требования на быстродействие системы АВР и качество коммутационного оборудования.

Таблица 1

**Требования к параметрам электроснабжения
различных категорий потребителей**

Параметр	Первая категория (особая группа)	Первая категория	Вторая категория
Количество независимых источников питания	3	2	2
Время переключения на резерв, с	$\leq 0,5$	Автоматическое	Допускается ручное
Требуемая надежность, %	99,999	99,99	99,9
Наличие автономного источника	Обязательно	Рекомендуется	Не обязательно

Источник: составлено автором по данным [1, 3, 8]

Интеллектуальные системы электроснабжения, разработанные на основе современных технологий автоматизации, предоставляют расширенные возможности для управления и мониторинга состояния оборудования [3]. Структура таких систем предполагает формирование нескольких уровней электропитания с различными характеристиками надежности и качества электроэнергии. Нулевой уровень соответствует качеству напряжения входного фидера с трансформаторной подстанции, первый уровень формируется двумя входными фидерами и устройством АВР, второй уровень создается вводно-распределительным устройством с защитой от перенапряжений и высокочастотных помех [3]. Последующие уровни обеспечиваются стабилизаторами напряжения и источниками бесперебойного питания, гарантирующими максимально возможное качество электроэнергии для критичных нагрузок.

Представленная на рис. 1 структура интеллектуальной системы электроснабжения демонстрирует многоуровневый подход к формированию шин питания различного качества [3]. Каждый уровень обеспечивает определенную степень защиты от искажений напряжения и перерывов электроснабжения. Трансформаторная подстанция через два независимых фидера подключается к устройствам автоматического ввода резерва первого уровня, которые формируют шину питания для распределения электроэнергии по потребителям [1]. При длительном отсутствии сетевого напряжения автоматически включается дизель-генераторная

установка, управляемая автоматической панелью управления. Вводно-распределительное устройство с многофункциональным измерительным контроллером формирует шину второго уровня, обеспечивая защиту от сетевых перенапряжений и компенсацию реактивной мощности [3].

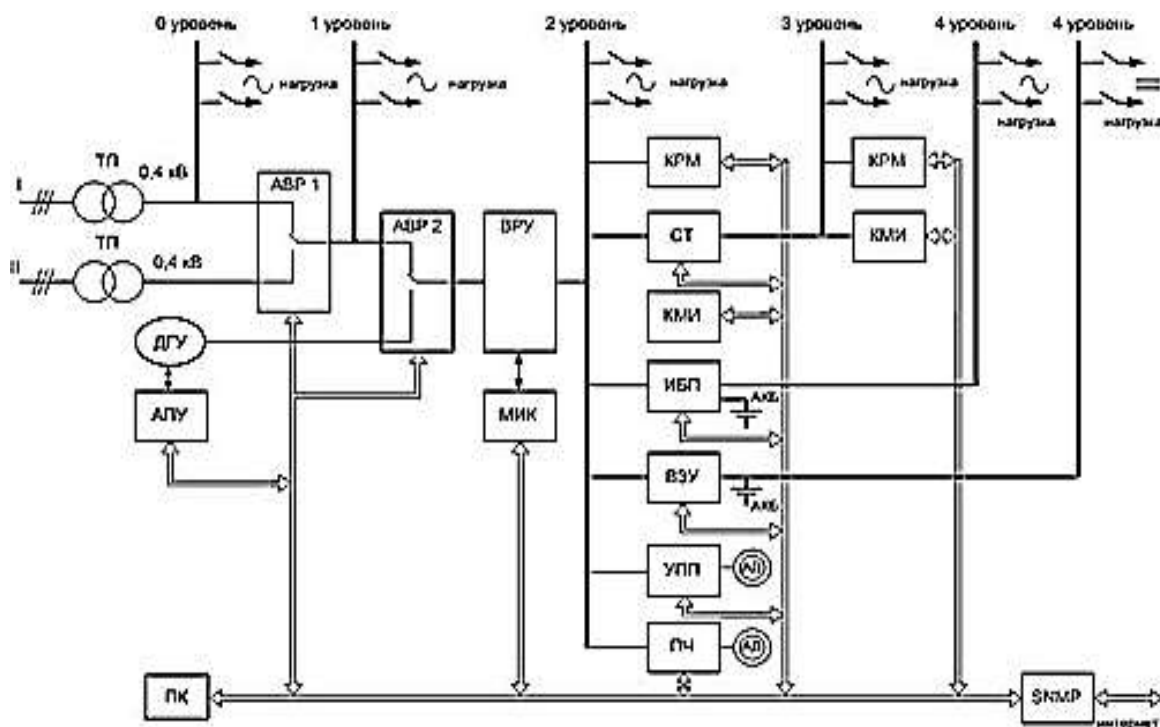


Рис. 1. Структура ИСЭЛ [3]: ТП – трансформаторная подстанция, ДГУ – дизель-генераторная установка, АПУ – автоматическая панель управления, АВР – установка автоматического ввода резерва, ВРУ – вводно-распределительное устройство, МИК – multifunctional измерительный контроллер, СТ – стабилизатор напряжения, ИБП – источник бесперебойного питания, АБ – аккумуляторные батареи, ВЗУ – выпрямительно-зарядное устройство, КРМ – компенсатор реактивной мощности, КМИ – компенсатор мощности искажения, УПП – устройство плавного пуска, ПЧ – преобразователь частоты, ПК – персональный компьютер

Для обеспечения высокого качества электроэнергии применяются стабилизаторы напряжения, источники бесперебойного питания и выпрямительно-зарядные устройства, формирующие шины третьего и четвертого уровней [3]. Компенсаторы реактивной мощности и мощности искажения подключаются по каскадно-многоуровневой схеме, что позволяет эффективно решать задачи обеспечения электромагнитной совместимости оборудования. Устройства плавного пуска и преобразователи частоты обеспечивают оптимальные режимы работы электродвигателей, снижая пусковые токи и повышая энергоэффективность системы в целом.

Особое значение для повышения качества электроэнергии имеет применение каскадно-многоуровневой схемы подключения компенсаторов реактивной мощности и мощности искажения [3]. Компенсаторы реактивной мощности устанавливаются как непосредственно на входе мощных индуктивных нагрузок, так и на общих шинах второго и третьего уровней. Компенсаторы мощности искажения подключаются на входе нелинейных нагрузок для подавления высших гармоник тока, генерируемых выпрямителями, источниками бесперебойного питания и преобразователями частоты.

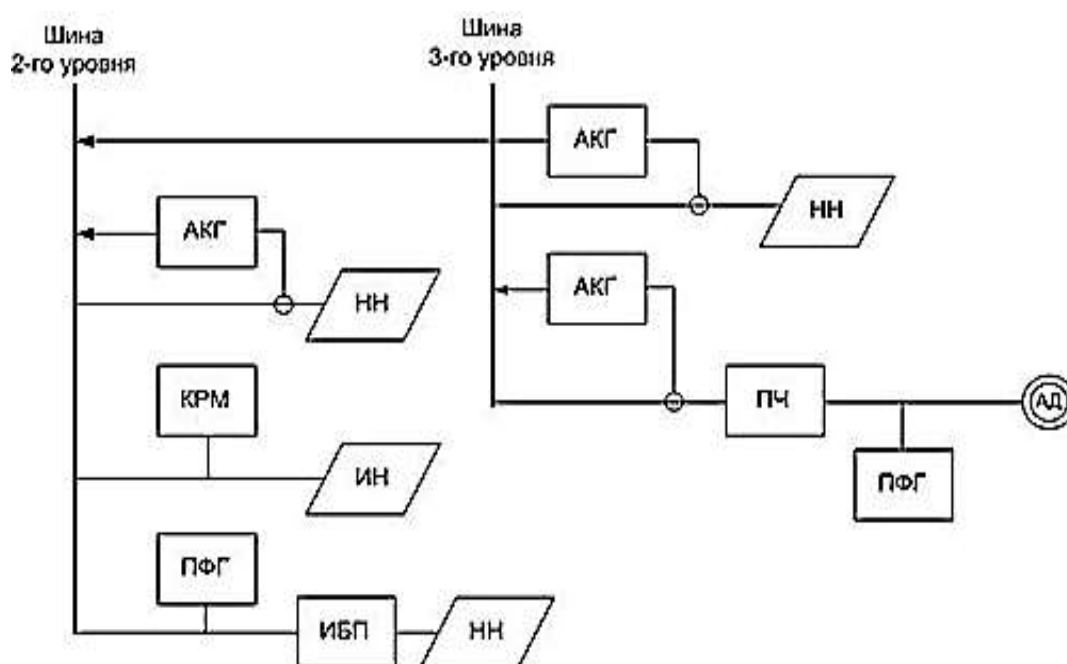


Рис. 2. Каскадно-многоуровневый способ подключения компенсаторов реактивной мощности (КРМ) и мощности искажения (КМИ) [3]

Представленная на рис. 2 схема демонстрирует эффективный подход к решению проблем электромагнитной совместимости в системах электроснабжения с нелинейными нагрузками [3]. Активные кондиционеры гармоник устанавливаются непосредственно перед нелинейными нагрузками на шинах второго и третьего уровней, обеспечивая локальную компенсацию высших гармоник тока. Компенсаторы реактивной мощности подключаются к индуктивным нагрузкам, таким как асинхронные электродвигатели, улучшая коэффициент мощности системы. Дополнительные активные кондиционеры и пассивные фильтры гармоник устанавливаются на общих шинах для компенсации суммарных искажений от всех нелинейных потребителей.

Многофункциональные измерительные контроллеры обеспечивают непрерывный мониторинг параметров электрической сети на всех уровнях системы [1]. Контроллеры измеряют напряжение, ток, частоту, коэффициент мощности, уровень высших гармоник и другие параметры качества электроэнергии в режиме реального времени. Полученные данные передаются в систему диспетчеризации через интерфейсы RS-485 или Ethernet с использованием протоколов Modbus RTU или Modbus TCP, что обеспечивает совместимость оборудования различных производителей [3].

Сравнительный анализ традиционных и интеллектуальных систем автоматического ввода резерва представлен в табл. 2. Оценка проводилась по ключевым параметрам, определяющим эффективность системы электроснабжения критически важных объектов.

Таблица 2

**Сравнение характеристик
традиционных и интеллектуальных систем АВР**

Параметр	Традиционная система АВР	Интеллектуальная система АВР
Время переключения, мс	200–500	50–150
Мониторинг параметров сети	Ограниченный	Полный в режиме реального времени
Прогнозирование отказов	Отсутствует	Реализовано на основе анализа данных
Дистанционное управление	Ограничено	Полное через систему диспетчеризации
Адаптивность к условиям эксплуатации	Низкая	Высокая благодаря программируемости

Источник: составлено автором по данным [1, 3, 8]

Результаты сравнения демонстрируют существенные преимущества интеллектуальных систем АВР перед традиционными решениями [5]. Сокращение времени переключения между источниками питания в 2–3 раза является критически важным для обеспечения бесперебойной работы высокочувствительного оборудования [9]. Возможность непрерывного мониторинга параметров электрической сети позволяет своевременно выявлять отклонения от нормальных режимов работы и принимать превентивные меры для предотвращения аварийных ситуаций [1]. Функции прогнозирования отказов, реализованные на основе анализа трендов изменения параметров оборудования, способствуют переходу от планово-предупредительного к предиктивному обслуживанию [6].

Важным аспектом повышения надежности электроснабжения является интеграция систем автоматического ввода резерва в общую систему автоматизации и диспетчеризации объекта [1]. Интеллектуальные системы электроснабжения поддерживают открытые протоколы обмена данными, что обеспечивает возможность их интеграции с другими инженерными системами здания или предприятия [3]. Централизованное управление всеми инженерными системами через единую диспетчерскую позволяет оптимизировать режимы энергопотребления, сократить эксплуатационные расходы и повысить общий уровень безопасности объекта.

Анализ экономической эффективности внедрения интеллектуальных систем электроснабжения представлен в табл. 3. Оценка проводилась с учетом капитальных и эксплуатационных затрат, а также потенциальной экономии от снижения расходов на обслуживание и предотвращения ущерба от перерывов электроснабжения.

Таблица 3

**Экономические показатели
внедрения интеллектуальных систем электроснабжения**

Показатель	Традиционная система	Интеллектуальная система
Капитальные затраты, относительные единицы	1,0	1,3–1,5
Эксплуатационные расходы, % от капитальных в год	8–10	5–6
Срок окупаемости дополнительных инвестиций, лет	—	3–5
Снижение ущерба от перерывов электроснабжения, %	—	40–60

Источник: составлено автором по данным [1, 3, 8]

Представленные данные свидетельствуют о том, что, несмотря на более высокие первоначальные инвестиции, интеллектуальные системы электроснабжения обеспечивают значительную экономию в процессе эксплуатации [1]. Снижение эксплуатационных расходов достигается за счет автоматизации процессов управления, сокращения численности обслуживающего персонала и оптимизации режимов работы оборудования [7]. Предотвращение ущерба от перерывов электроснабжения, особенно для критически важных объектов, может составлять значительные суммы, что делает внедрение интеллектуальных систем экономически целесообразным [6].

Особое значение для обеспечения надежности электроснабжения имеет организация системы технического обслуживания и мониторинга состояния оборудования [10]. Интеллектуальные системы предоставляют расширенные возможности для диагностики и контроля параметров работы электрооборудования, что позволяет своевременно выявлять признаки возможных неисправностей и планировать ремонтные работы [9]. Ведение электронных журналов событий и архивирование данных о режимах работы системы обеспечивает возможность ретроспективного анализа и совершенствования алгоритмов управления [1].

Внедрение интеллектуальных систем электроснабжения требует комплексного подхода, включающего не только установку современного оборудования, но и обучение персонала, разработку регламентов обслуживания и процедур реагирования на аварийные ситуации [2]. Квалификация эксплуатационного персонала является важным фактором, определяющим эффективность использования возможностей интеллектуальных систем управления [7]. Необходимо обеспечить понимание персоналом принципов функционирования систем автоматизации, умение интерпретировать данные мониторинга и принимать обоснованные решения в штатных и аварийных ситуациях.

Заключение

Проведенное исследование показало, что внедрение интеллектуальных систем автоматического ввода резерва является эффективным средством повышения надежности электроснабжения потребителей первой категории. Современные интеллектуальные системы превосходят традиционные решения по всем ключевым параметрам, включая быстродействие, функциональные возможности и адаптивность к изменяющимся условиям эксплуатации. Сокращение времени переключения между источниками питания, реализация непрерывного мониторинга состояния оборудования и возможность прогнозирования отказов обеспечивают существенное повышение надежности электроснабжения критически важных объектов.

Экономическая эффективность внедрения интеллектуальных систем электроснабжения подтверждается снижением эксплуатационных расходов и предотвращением ущерба от перерывов электроснабжения. Несмотря на более высокие первоначальные инвестиции, окупаемость проектов внедрения интеллектуальных систем составляет 3–5 лет, что является приемлемым показателем для объектов с высокими требованиями к надежности электроснабжения. Интеграция систем автоматического ввода резерва в общую систему автоматизации и диспетчеризации объекта обеспечивает дополнительные преимущества в виде оптимизации энергопотребления и повышения уровня безопасности.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и модернизации систем электроснабжения медицинских учреждений, промышленных предприятий, объектов связи и других критически важных объектов, предъявляющих повышенные требования к надежности электроснабжения. Дальнейшее совершенствование интеллектуальных систем управления электроснабжением связано с развитием технологий искусственного интеллекта, машинного обучения и интернета вещей, что открывает новые возможности для повышения эффективности и надежности электроснабжения потребителей первой категории.

Библиографический список

1. Автоматизация систем электроснабжения, электроосвещения и электрообогрева. – URL : <https://rina.pro/napravleniya-deyatelnosti/sistemy-avtomatizacii/avtomatizaciya-elektrosnabzheniya> (дата обращения: 12.02.2026). – Текст : электронный.
2. Иванова, О. Е. Перспективы использования интеллектуальных систем электроснабжения / О. Е. Иванова. – Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2025. – С. 165–168. – EDN WFPHRV. – Текст : непосредственный.
3. Концепция интеллектуальной системы электроснабжения (ИСЭЛ) от группы «РУСЭЛТ». – URL : <https://www.elec.ru/publications/tsifrovyye-tekhnologii-svjaz-izmerenija/597/> (дата обращения: 12.02.2026). – Текст : электронный.
4. Кравченко, Г. А. Электроснабжение ответственных групп электроприемников / Г. А. Кравченко, Э. Л. Львова, Н. В. Степанов. – Текст : непосредственный // Вестник Чувашияского университета. – 2023. – № 2. – С. 112–120. – DOI 10.47026/1810-1909-2023-2-112-120. – EDN WNUTRO.
5. Кузьмин, А. А. Особенности построения интеллектуальных электрических сетей / А. А. Кузьмин ; Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, 2023. – С. 227–228. – EDN HRFPMK. – Текст : непосредственный.
6. Маслов, Д. П. Пути увеличения надёжности электрооборудования системы электроснабжения / Д. П. Маслов. – Текст : непосредственный // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 96-8. – С. 171–173. – DOI 10.18411/tmio-04-2023-442. – EDN AKSVTK.
7. Папков, Б. В. Основы управления режимами электропотребления / Б. В. Папков, В. Л. Осокин. – Текст : непосредственный // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии. – Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2023. – С. 123–126. – EDN NAIOSD.

8. Первая категория электроснабжения и её обеспечение. – URL : <https://arghome.ru/blog/pervaya-kategoriya-elektrosnabzheniya-kak-obespechivaetsya/> (дата обращения: 12.02.2026). – Текст : электронный.

9. Полещук, Д. Л. Устройство автоматического включения резерва / Д. Л. Полещук, И. А. Щинников. – Текст : непосредственный // Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2024. – № 5 (110). – С. 38–41. – EDN IUUYINS.

10. Ярыш, Р. Ф. Резервирование в системах оперативного тока / Р. Ф. Ярыш, В. Н. Петров. – Альметьевск : Альметьевский государственный технологический университет, 2024. – С. 510–513. – EDN JCQNXT. – Текст : непосредственный.

*А. Д. Зарубин, И. Н. Леонов, Е. Ю. Пузина
Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Исследование посвящено анализу отказов оборудования тяговых подстанций на примере одной из российских железных дорог за период с 2015 по 2024 гг. Электрификация данной дороги осуществлялась с начала 60-х гг. двадцатого века. Достаточно большое количество оборудования на ряде тяговых подстанций, претерпев капитальные ремонты, продолжает находиться в эксплуатации. Это не может не сказываться на общей надёжности работы тяговых подстанций, существует повышенный риск выхода из строя подобных образцов оборудования ввиду естественного износа их отдельных узлов. Структурированный анализ отказов поможет установить их причины и внести предложения по повышению надёжности работы оборудования тяговых подстанций.

Ключевые слова: тяговые подстанции, отказы оборудования, статистический анализ.

Важнейшими компонентами энергосистемы являются трансформаторные и тяговые подстанции, которые выполняют функции преобразования напряжения и распределения электроэнергии между потребителями. Однако устаревшее оборудование подстанций представляет собой серьёзную проблему, поскольку напрямую влияет на стабильность работы энергосистемы [1-2].

Эта проблема характерна и для тяговых подстанций электрифицированных железных дорог, основной задачей которых является электроснабжение контактной сети и, соответственно, тягового подвижного состава.

Рассмотрим статистику отказов оборудования тяговых подстанций одной из российских железных дорог за 2015–2024 гг. За рассматриваемый период времени произошло 113 отказов оборудования.

Согласно положению «Об учёте, расследовании и анализе отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАСАНТ» от 06.09.2021 отказы делятся на следующие виды:

- эксплуатационный – возникший в связи с нарушением правил и условий эксплуатации;
- производственный – причиной возникновения является несовершенство или нарушение процесса изготовления или ремонта на ремонтном предприятии;
- конструктивный – связан с нарушением норм проектирования и конструирования;
- деградационный – обусловлен процессами старения, износа, коррозии и усталости;
- внешний – отказ, возникший в результате стихийных бедствий, грозовых атмосферных явлений, порч, краж, вандализма, умышленных или неправомерных действий третьих лиц, в т. ч. физических лиц, не являющихся работниками ОАО «РЖД», а также в результате повреждения внешнего оборудования и стекла высокоскоростного подвижного состава посторонними предметами.

На основании собранных статистических данных об отказах оборудования тяговых подстанций с 2015 по 2024 гг. сформирована табл. 1, где приведены данные по видам оборудования, количеству и характеру отказов.

По данным, приведенным в табл. 1, построена круговая диаграмма, показывающая процентное соотношение отказов по видам оборудования (рис. 1).

Можем сделать вывод, что наиболее повреждаемыми видами оборудования тяговых подстанций обследуемой железной дороги являются выключатели (31 %), воздушные и кабельные линии (13 %) и измерительные трансформаторы (11 %).

Далее, на рис. 2 представлена диаграмма, указывающая, какой класс отказов наиболее распространен. Видим, что большую часть пространства занимают отказы, имеющие деградационный характер (54 %), что говорит о значительном старении оборудования на тяговых подстанциях

одной из российских железных дорог, также весомую долю берут на себя внешние (21 %) и эксплуатационные отказы (20 %).

Таблица 1

Количество отказов по их видам и группам оборудования

Оборудование	Классификация отказов				
	деградаци- онный	эксплуата- ционный	внешний	конструк- тивный	производ- ственный
Выключатели	19	10	6	2	-
ВЛ и КЛ	6	1	7	-	-
Изоляторы	8	-	1	-	-
Отделители и разъединители	8	2	1	-	-
Измерительные трансформаторы	11	-	1	-	-
Разрядники и ОПН	4	1	1	1	-
Силовые трансформаторы	1	-	1	-	-
Защита линий СЦБ, РЗА	2	6	3	-	-
Прочие тех. средства	2	3	3	1	1

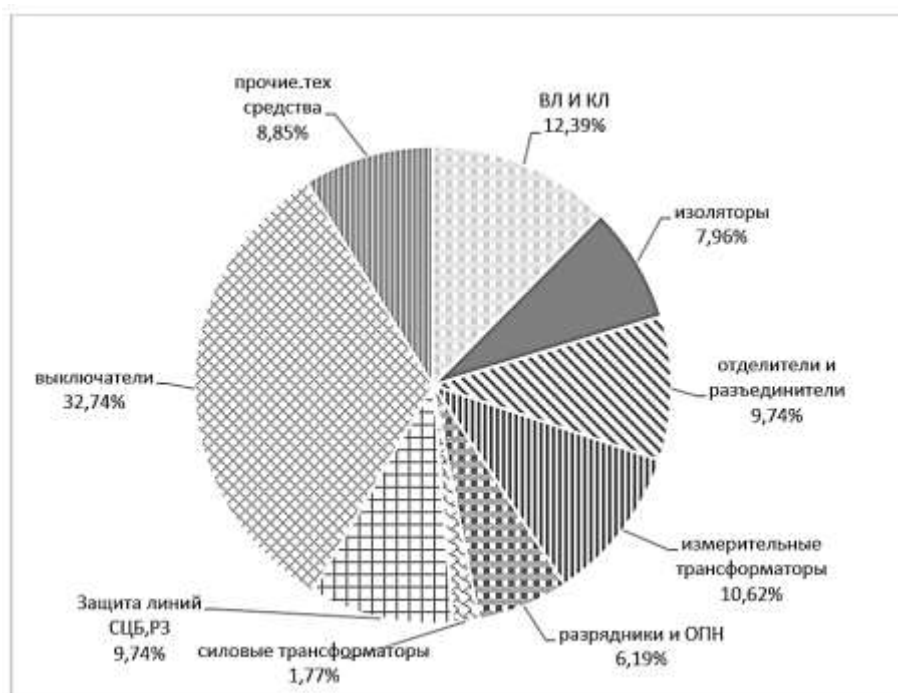


Рис. 1. Отказы по видам оборудования

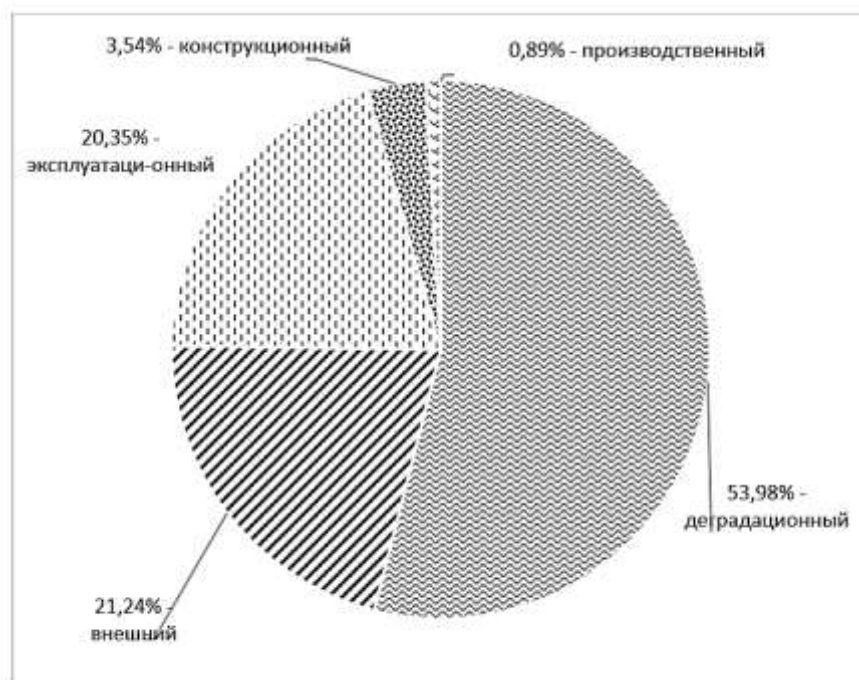


Рис. 2. Распределение по видам отказов

С целью дальнейшего проведения анализа выполнен расчет удельной повреждаемости оборудования для каждой дистанции электроснабжения данной железной дороги, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Удельная повреждаемость оборудования тяговых подстанций по дистанциям электроснабжения

ЭЧ	Кол-во отказов	Кол-во ТП	Удельная повреждаемость
ЭЧ1	17	7	2.42
ЭЧ2	12	7	1.71
ЭЧ3	24	12	2
ЭЧ4	14	7	2
ЭЧ5	7	6	1.16
ЭЧ6	9	8	1.12
ЭЧ7	15	12	1.25
ЭЧ8	16	12	1.33
ЭЧ9	2	5	0.4

На всей исследуемой дороге имеется 76 тяговых подстанций, из которых 12 подстанций приходится на ЭЧ-3. Во владении ЭЧ-7 и ЭЧ-8 находятся по 12 подстанций. В пределах ЭЧ-1 – 7, ЭЧ-2 – 7 и ЭЧ-6 – 8.

ЭЧ-4 располагает 7-ю тяговыми подстанциями. На территории ЭЧ-5 расположены 6 тяговых подстанций. ЭЧ-9 имеет в распоряжении 5 подстанций. На основе данной информации построена гистограмма удельной повреждаемости, представленная на рис. 3.



Рис. 3. Гистограмма удельной повреждаемости

На данном рисунке видно, что удельная повреждаемость имеет наибольшее значение в таких дистанциях электроснабжения, как ЭЧ-1, ЭЧ-3 и ЭЧ-4. Анализ соотношения причин отказов в этих дистанциях показал, что большое количество отказов связано с некачественной эксплуатацией, как например, в ЭЧ-1 на эксплуатационные отказы приходится 38,5 % отказов, а в ЭЧ-3 – 36,8 %.

Таким образом, на базе проведенного анализа можно утверждать, что необходимо особое внимание обратить на своевременное техническое обслуживание высоковольтных выключателей, измерительных трансформаторов и токоведущих частей тяговых подстанций, при необходимости производить их замену в силу высокого износа [3]. Также следует уделять больше внимания повышению квалификации эксплуатационного персонала тяговых подстанций [4–8]. Это будет способствовать более высокой надежности работы тяговых подстанций.

Библиографический список

1. Джумаев, Ш. Анализ устройств релейной защиты / Ш. Джумаев, О. Маммедова, С. Ниязов, Н. Нургулыев. – Текст : непосредственный // Системная трансформация – основа устойчивого инновационного развития : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2025. – С. 19–21.

2. Пузина, Е. Ю. Целесообразность применения системы мониторинга силовых трансформаторов / Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. 50-летию энергетического факультета посвящается. – Иркутск, 2013. – С. 167–161.

3. Пузина, Е. Ю. Сравнительный анализ оборудования уровня процесса для цифровой тяговой подстанции / Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 92–104.

4. Крапивин, М. И. Применение инновационного способа подготовки специалистов в профессиональном образовании / М. И. Крапивин, А. Ю. Бардушко, А. Д. Зарубин. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных : сборник материалов IX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, приуроченной к 95-летию основания ФГБОУ ВО «СибАДИ». – Омск, 2025. – С. 946–949.

5. Давыдова, Н. А. Роль охраны труда и электробезопасности в технологических процессах Забайкальской дирекции по энергообеспечению / Н. А. Давыдова, М. В. Востриков, В. А. Тихомиров. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 2 (12). – С. 205–213.

6. Крапивин, М. И. Обучающая VR-программа для работников тяговых и трансформаторных подстанций / М. И. Крапивин, Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2024. – № 2 (24). – С. 97–104.

7. Пузина, Е. Ю. Применение искусственного интеллекта в железнодорожной электроэнергетике / Е. Ю. Пузина, М. И. Крапивин, С. С. Урлапов, Ю. Н. Макаренко. – Текст : непосредственный // Трансформация транспорта и образования : труды Всероссийской научно-практической конференции КрИЖТ ИрГУПС, посвященной 130-летию транспортного образования в Сибири. – Красноярск, 2024. – С. 361–365.

8. Крапивин, М. И. VR-тренажёр тяговой подстанции / М. И. Крапивин, А. Ю. Бардушко, В. В. Светимский, И. А. Серебренников, В. А. Безгубов, Н. Е. Куксов, Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Иркутск, 2025. – С. 152–156.

Д. В. Игнатко, К. Р. Зеленский
*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

Л. Л. Буитрон Карнио
*Иркутский государственный университет,
г. Иркутск, Россия*

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОКРАЩЕНИЮ ВРЕМЕНИ НА ДИАГНОСТИКУ ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время существует проблема необходимости своевременной диагностики зарубежного элегазового оборудования, которое у которого подходит срок первого среднего ремонта. В условиях геополитической нестабильности могут возникнуть сложности с привлечением специалистов от заводов-изготовителей, а игнорирование обслуживания увеличит риск аварий и финансовых потерь. Данное оборудование сложно по конструкции, универсальные методики диагностики часто недостаточно эффективны для элегазового оборудования, его разбор рискован в отсутствие специалистов завода-изготовителя. В статье предлагается к рассмотрению методика диагностики элегазового оборудования без разбора, позволяющая сократить время диагностики. Продукт сочетает традиционные и инновационные методы диагностики элегазового оборудования.

Ключевые слова: элегазовое оборудование, диагностика, снижение затрат.

Электроэнергетика служит базой для функционирования всех отраслей промышленности [1] современного государства и напрямую влияет на его суверенитет и качество жизни граждан. В этой связи крайне важно системно обеспечивать надёжность и исправность как основного, так и вспомогательного оборудования отрасли [2–5]. Это достигается путем проведения своевременной и полной диагностики, охватывающей все узлы высоковольтного оборудования [6–7].

В настоящее время возникла необходимость в проведение такой диагностики для зарубежного элегазового оборудования, используемого в российских электрических сетях, в т. ч. и в системах электроснабжения российских железных дорог, поскольку нормативный срок эксплуатации элегазового оборудования до первого среднего ремонта, в зависимости от производителя, в среднем составляет 20–25 лет, а основная волна начала приобретения предприятиями такого оборудования выпала

на 2000-е гг. Основная проблема заключается в том, что по истечении нормативного срока эксплуатации сведения должны направляться предприятию-изготовителю для оценки состояния оборудования и принятия решения о необходимости ремонта в соответствии с руководством по эксплуатации, регламентом и иной нормативно-технической документацией производителя. В условиях современной геополитической ситуации это представляется невозможным, поэтому возникла острая потребность в проведении самостоятельного технического обследования элегазового оборудования, у которого срок эксплуатации истекает или уже истёк, с целью установления его состояния и оценки пригодности для дальнейшей эксплуатации.

Элегаз, применяемый в таком оборудовании, представляет собой шестифтористую серу (SF_6), получаемую путем химического синтеза. Это вещество обладает рядом уникальных свойств:

- является высококачественным диэлектриком, обладающим диэлектрической прочностью, в несколько раз превышающей аналогичный показатель воздуха;
- имеет уникальную способность гасить электрическую дугу – путем захвата ее электронов своими атомами и образования при этом малоподвижных отрицательно заряженных частиц, что резко снижает интенсивность горения дуги;
- химической стабильностью до температуры $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- элегаз является нестареющим диэлектриком;
- масса элегаза, потребная для работы элегазовых выключателей, измеряется всего лишь единицами или десятками килограмм в зависимости от класса напряжения.

Указанные свойства приводят к длительному нормативному сроку эксплуатации такой техники. Однако, в процессе эксплуатации, например, элегазовых выключателей, неизбежно происходит износ контактной группы, медленная в нормальных условиях эксплуатации утечка элегаза, всасывание влаги из окружающей среды, в результате коммутаций постепенно накапливаются примеси в элегазе. Все это вызывает с течением времени необходимость проведения диагностики данного оборудования [8].

В настоящее время в рамках задачи исследования силами коллектива авторов данной работы проведен анализ методики диагностики узлов элегазового оборудования, предлагаемой в [9] для отечественного элегазового оборудования. Определенная часть этой методики вполне пригодна и для образцов зарубежного производства. Однако, ввиду существующей геополитической обстановки ставится задача о доработке су-

ществующей методики по проведению диагностики элегазового оборудования, либо же разработке новой методики без вмешательства в основные агрегатные узлы, демонтажа и вскрытия полюсов и баков [10], т. к. оборудование сложно по конструкции, универсальные методики часто недостаточно эффективны, демонтаж рискован и может привести к повреждениям и угрозе для персонала.

В целях совершенствования данной методики предлагается решение по сокращению времени, затрачиваемого на проведение диагностики, и сохранению имеющегося объема элегаза. В качестве идеи по модернизации выступает объединение трех этапов методики, таких как «Проведение контроля влагосодержания элегаза и/или газовой смеси», «Контроль концентрации SF₆ (процентного содержания шестифтористой серы) в ЭО» и «Контроль общего содержания газообразных продуктов распада SF₆», в один этап. Это можно достичь путем использования мультианализатора элегаза Rapidox SF6 6100 (см. Рисунок).



Рисунок. Rapidox SF 6 6100 Pump Back

Данное оборудование предназначено для измерения чистоты SF₆, влагосодержания и наличие примесей в электрооборудовании с использованием одной пробы элегаза, что обеспечивает экономию времени, затраченного на проведение испытания. Так же Rapidox SF6 6100 оснащен системой рециркуляции, которая снижает расход газа и обеспечивает замкнутость контура без выброса в атмосферу, соблюдая экологические нормы. Rapidox SF 6 6100 Pump Back автоматически отбирает требуемое количество газа, измеряет параметры и возвращает пробу обратно в обо-

рудование. Результаты измерений отображаются в режиме реального времени и могут быть экспортированы на USB-носитель в формате MS Excel. Встроенный термопринтер позволяет распечатать результаты анализа. По желанию можно установить сенсоры для измерения H₂O, SO₂, HF, O₂ и CF₄, что делает прибор универсальным для разных задач.

К основным преимуществам данного прибора стоит отнести:

1. Снижение расхода элегаза и замкнутая система (тем самым обеспечивается экономия дорогостоящего газа).
2. Экологичность благодаря предотвращению утечек газа.
3. Встроенный насос для откачки пробы обратно в оборудование.
4. Полностью русифицированный интерфейс (позволяет сократить время на обучение использованию персонала).
5. Встроенные тесты по стандарту IEC и CIGRE.
6. Результаты анализа в режиме реального времени.
7. Экспорт данных в формате MS Excel на USB-накопитель.
8. Встроенный термопринтер для печати результатов испытаний в полевых условиях.
9. Имеет малые габариты 180mm x 480mm x 360mm.

Эти преимущества делают Rapidox SF 6 6100 Pump Back оптимальным выбором для использования его в комплексной методике по диагностированию элегазового оборудования.

Результаты проведенного исследования показали, что внедрение мультианализатора элегаза Rapidox SF6 6100 приведет к значительному улучшению как экономических, так и временных параметров диагностики. Данное решение обладает технологическими преимуществами, особенно актуальными в долгосрочной перспективе, т. к. использование одного мультиприбора обеспечит существенное снижение экономических затрат на обслуживание элегазового оборудования.

Биографический список

1. Пигилова, Р. Н. Основные пути решения вопросов энергообеспечения промышленных предприятий / Р. Н. Пигилова, Т. В. Малышева, Ф. М. Филиппова, Ю. А. Аверьянова, Л. Р. Гайнуллина. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – № 7. – С. 307–313.

2. Урлапов, С. С. Анализ повреждаемости электрооборудования тяговых подстанций на Восточно-Сибирской железной дороге / С. С. Урлапов, М. И. Крапивин. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2023. – № 2 (20). – С. 106–114.

3. Крапивин, М. И. Целесообразность применения электролитического заземления в грунтах с большим удельным сопротивлением / М. И. Крапивин, А. Е. Исаков, Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2023. – № 2 (20). – С. 98–106.

4. Капранов, П. А. Реконструкция районов электрических сетей с целью снижения потерь мощности / П. А. Капранов, Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону. – 2020. – С. 172–175.

5. Пузина, Е. Ю. Сравнительный анализ оборудования уровня процесса для цифровой тяговой подстанции / Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2 (70). – С. 92–104.

6. Косенко, А. Д. Система автоматизированной обработки результатов тепловизионной диагностики электрооборудования / А. Д. Косенко, В. А. Величко, А. А. Косенко. – Текст : непосредственный // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2025. – Т. 68. – № 4. – С. 324–342.

7. СТО 56947007-29.240.01.244-2017. Нормы точности измерений режимных и технологических параметров, измеряемых на объектах ПАО «ФСК ЕЭС» : методические указания по определению метрологических характеристик измерительных каналов и комплексов [утверждён приказом ПАО «ФСК ЕЭС» от 29.06.2017 № 246]. – Текст : непосредственный.

8. СТО 34.01-23-005-2019. Методические указания по диагностированию элегазового оборудования. – Текст : непосредственный.

9. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объём и нормы испытания электрооборудования [утверждён распоряжением ПАО «Россети» от 29.05.2017 № 280р]. – Текст : непосредственный.

10. Бардушко, А. Ю. Сравнительный анализ методов диагностики фарфоровых изоляторов и покрышек высоковольтного оборудования / А. Ю. Бардушко, М. И. Крапивин, Е. Ю. Пузина. – Текст : непосредственный // Кибернетика энергетических систем : сборник материалов XLVI международной научно-технической конференции. – Новочеркасск, 2024. – С. 81–84.

Л. В. Козиенко, А. Ю. Иванова

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

АНАЛИЗ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРА СЕТЕВОГО КОММУТАТОРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В статье рассматривается применение метода акустического контроля для анализа работы системы охлаждения сетевого коммутатора. В работе представлены результаты эксперимента, в ходе которого регистрировался акустический сигнал работающего вентилятора. Проведён сравнительный спектральный анализ и выделены диагностические признаки, позволяющие определить основные характеристики и состояние устройства.

Ключевые слова: акустическая диагностика, акустический контроль, неразрушающий контроль, спектральный анализ, система воздушного охлаждения.

Современные сети передачи данных строятся на базе активного сетевого оборудования, такого как коммутаторы и маршрутизаторы, а также серверов, предназначенных для хранения и обработки информации. В процессе работы телекоммуникационное оборудование выделяет значительное количество тепла, для отвода и рассеивания которого применяются системы воздушного охлаждения, основным элементом которых являются вентиляторы. При этом отказ даже одного вентилятора может привести к перегреву оборудования, снижению производительности, преждевременному износу компонентов и, в итоге, к выходу устройства из строя. В связи с этим, актуальной задачей становится разработка и внедрение эффективных методов предиктивного (прогнозного) обслуживания, позволяющих выявлять признаки деградации систем охлаждения на ранних стадиях, ещё до возникновения существенных неисправностей [1–3].

Одним из перспективных неразрушающих методов диагностики является акустический контроль [4, 5]. Его суть заключается в анализе звуковых сигналов (колебаний и вибраций), генерируемых работающим оборудованием. Любой механический узел, включая электродвигатель вентилятора, в процессе функционирования создаёт характерный акустический сигнал. Изменения в этом сигнале – появление новых гармоник, изменение уровня шума, возникновение несвойственных вибраций – являются прямыми индикаторами возникающих неисправностей,

таких как разбалансировка ротора, износ подшипников, загрязнение лопастей или попадание посторонних предметов.

Для проведения исследования особенностей работы системы охлаждения мы использовали сетевой коммутатор Cisco Catalyst 1900 со сроком службы более 25 лет (рис. 1). Коммутатор активно использовался в составе ЛВС ИрГУПС, а затем в лаборатории «Системы передачи информации» кафедры АТС. За это время коммутатор ни разу не ремонтировался, замена вентилятора или других элементов внутри устройства не производилась. Также заранее нам не были известны тип вентилятора и его технические характеристики.



Рис. 1. Внешний вид коммутатора Cisco Catalyst 1900

Запись акустических сигналов осуществлялась в разнесённые по времени сессии (далее Res.A и Res.B), с помощью двух разных смартфонов и встроенных в них приложений. Для записи Res.A использовался lossy формат AAC (Advanced Audio Codec) с постоянным битрейтом 256 Кбит/с и частотой 48 кГц, а для Res.B – кодек AAC с переменным битрейтом (среднее значение ~100 Кбит/с) и частотой дискретизации 44,1 кГц.

Смартфоны устанавливались на одинаковое расстояние от работающего вентилятора для обеспечения относительного равенства условий проведения эксперимента. Для последующего анализа мы взяли около 15–20 сек от каждой записи, исключив время на запуск и раскрутку вентилятора. Таким образом обе записи содержат звуки штатно работающей системы охлаждения коммутатора, спектрограммы (сонограммы) которых представлены на рис. 2.

На графике рис. 2 по горизонтали указано время в секундах, по вертикали – наблюдаемые частоты в Гц (для отображения частот используется ERB шкала – Equivalent Rectangular Bandwidth). Цветом кодируется

интенсивность сигнала, согласно цветовой схеме Roseus color – чем ярче цвет, тем выше мощность.

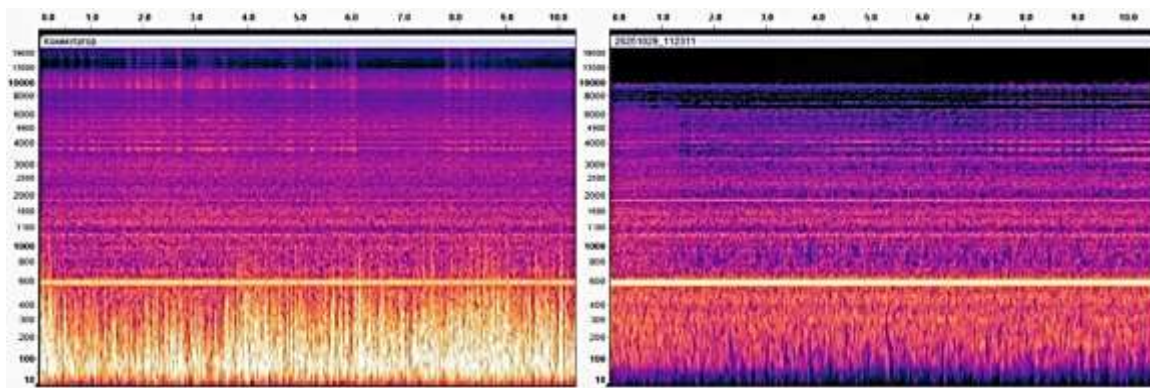


Рис. 2. Спектрограммы акустических сигналов работающего вентилятора коммутатора Cisco Catalyst 1900 (запись Res.A слева и Res.B справа)

Как видно из спектрограммы Res.A основная энергия сосредоточена в низкочастотной области спектра, при этом на графике Res.B аналогичный диапазон 10...100 Гц менее зашумлен, что говорит о разнице микрофонов, в частности, работе системы шумоподавления на втором смартфоне.

Также на обоих графиках фиксируется основная частота в районе ~600 Гц и множество дополнительных гармоник, распределённых в диапазоне от 1000 Гц до 10 кГц. На записи Res.B видно подавление частот свыше 10 кГц, в то время как на записи Res.A наблюдаются гармоники в районе 12 кГц и даже 19 кГц.

Таким образом, мы имеем несколько отличающиеся по спектральному составу записи, что, скорее всего, связано с конструктивными особенностями используемых в эксперименте смартфонов.

Попробуем построить и проанализировать спектры сигналов, чтобы определить насколько критична разница между микрофонами смартфонов и понять, сможем ли мы однозначно идентифицировать акустический «портрет» работающего вентилятора. При построении спектров используем функцию Хэмминга с «окном» в 16384 отсчётов (~2,7 Гц на слот). Функция Хэмминга используется по умолчанию в большинстве случаев, а большой размер «окна» позволяет различать близкие тона (например, 440 и 443 Гц, которые при меньшем разрешении сольются в один пик).

На рис. 3 представлены спектры полученных акустических сигналов. Как и в случае спектрограмм, на Res.A основная энергия сосредоточена в низкочастотной области. Также на обоих спектрах наблюдается

ярко выраженный пик в области ~ 600 Гц. На записи Рес.В порог шума в низкочастотной части спектра значительно снижен ($-87\dots 88$ дБ в сравнении с Рес.А $-65\dots 66$ дБ). Так же видна отсечка высоких частот в области свыше 10 кГц.

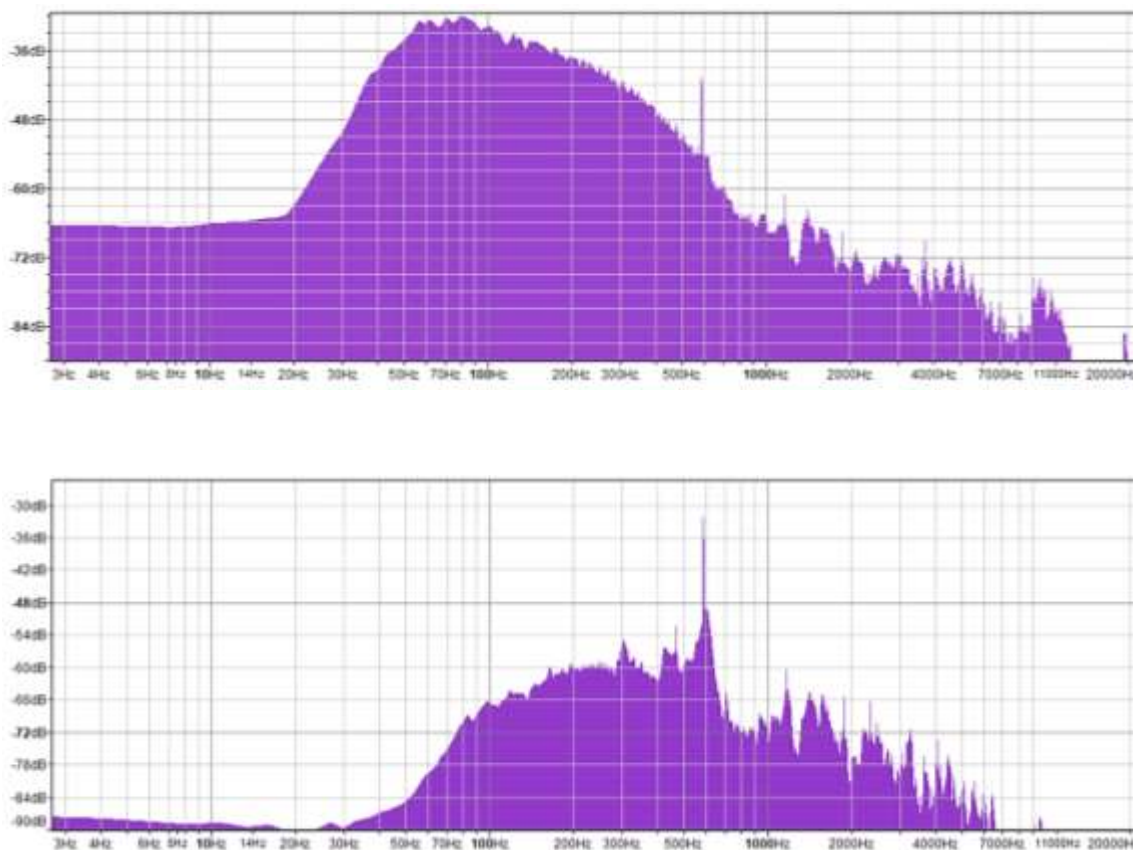


Рис. 3. Спектры акустических сигналов
работающего вентилятора коммутатора Cisco Catalyst 1900

Проанализируем спектры, используя LLM для определения характерных акустических особенностей работающего вентилятора [6, 7].

При работе вентилятора обычно возникают три основных типа гармоник (табл. 1): колебания связанные с вращением вала двигателя, завихрения воздуха, создаваемые лопастями крыльчатки и сигналы ШИМ от электронной схемы управления. Также существуют дополнительные шумы, вызванные отрывом воздушного потока (менее 200 Гц), турбулентностью (1–10 кГц), ультразвуком (свыше 10 кГц) от работы подшипников и щёток электродвигателя.

После проведённого анализа спектров акустических сигналов Рес.А и Рес.В были определены характерные гармоники и вероятные причины их возникновения (табл. 2).

Все полученные гармоники можно условно разделить на три основных группы:

- а) механические, вызванные движением деталей вентилятора;
- б) электрические, связанные с работой электронных схем управления и наведённые извне;
- в) воздушные, связанные с завихрениями воздуха внутри корпуса коммутатора.

Таблица 1

Основные виды гармоник, возникающих при работе вентиляторов

Тип	Частота	Причина	Тон
Вращение вала	$f_s = \text{RPM} / 60$	Вращение вала двигателя	Слабый
Частота вращения лопастей (BPF)	$f_{BPF} = f_s \times B$	Рассекание воздуха лопастями	Самый сильный
ШИМ/Коммутация	f_{PWM} (500–2000 Гц)	Электронное управление	Громкий и чистый

Таблица 2

Результаты акустического анализа вентилятора Cisco Catalyst 1900

Источник звука	Частота, Гц	Уровень, дБ	Вероятная причина
Пульсации PSU	60	-78,0	Блок питания (PSU) 19” стойки
Вибрация двигателя	82, 124, 148	-64,0...-68,0	Подшипники, разбалансировка ротора
Вращение вала	62	-78,0	Вращение вентилятора со скоростью 3720 об/мин
Частота вращения лопастей (BPF)	310	-56,1	Рассекание воздуха лопастями
ШИМ управление	584	-26,3	Микросхема управления электродвигателем
Высокие частоты	1871, 3710, 9158	-71,0...-88,0	Турбулентность

Зная частоту вращения вала f_s и частоту вращения лопастей f_{BPF} можно определить количество лопастей крыльчатки ($310 \text{ Гц} / 62 \text{ Гц} = 5$). Соответственно, зная количество лопастей можем определить скорость вращения вентилятора ($62 \text{ Гц} \times 5 = 3720 \text{ об/мин}$). Следует отметить, что лопасти крыльчатки, помимо основной частоты (310 Гц) порождают дополнительные, кратные основной гармонике $\times 2$, $\times 3$, $\times 4$, $\times 5$ (620, 930,

1240, 1550 Гц соответственно), которые также наблюдаются в спектре акустического сигнала.

Для проверки наших предположений откроем корпус коммутатора (рис. 4), внутри которого находится исследуемый вентилятор.

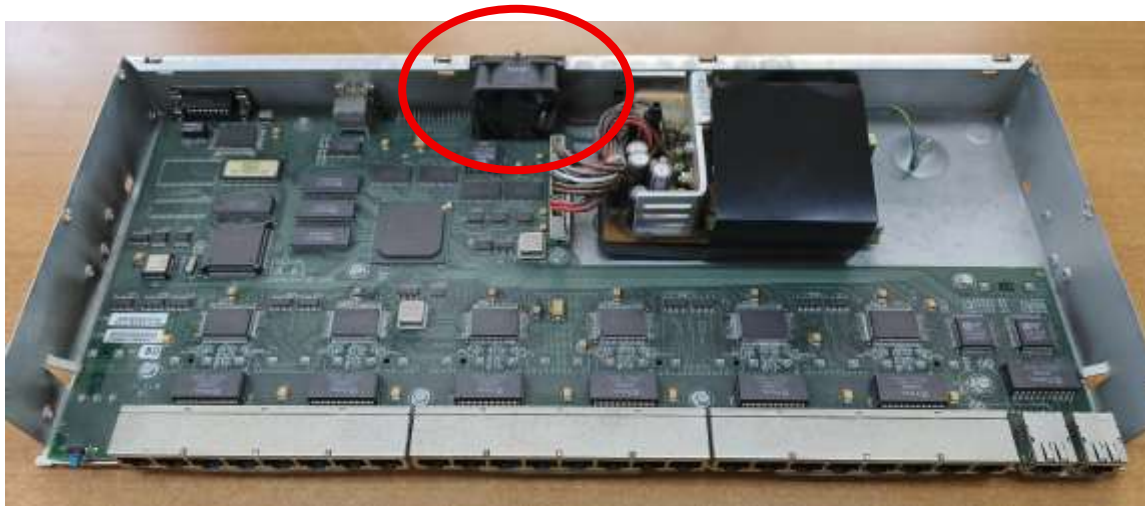


Рис. 4. Внутреннее устройство коммутатора Cisco Catalyst 1900

Внутри корпуса на задней панели установлен обычный двухпроводной бесщёточный вентилятор постоянного тока размером около 40×40×10 мм с 5 лопастями крыльчатки. Такое число лопастей – это стандарт для компактных конструкций, который позволяет сбалансировать скорость воздушного потока и создаваемый шум.

Таким образом, анализируя только акустический сигнал, можно выявить характерные конструктивные особенности устройства. В нашем случае вентилятор, скорее всего, вращается с постоянной скоростью ~3700 об/мин, о чём говорит наличие двух проводов цепи питания электродвигателя.

Такой вентилятор использует два провода для регулировки напряжения, но микросхема драйвера (скорее всего, 8-битный таймер) генерирует импульсы с частотой ~584 Гц для ограничения тока/плавного пуска (предотвращает пусковые скачки тока в небольших двигателях постоянного тока). При подаче пульсирующего напряжения катушки ротора электродвигателя начинают вибрировать с частотой 584 Гц, которая передаётся на корпус двигателя, что в свою очередь и вызывает звуковые колебания.

Данная гармоника отчётливо видна на обоих записях Res.A и Res.B, в то время как гармоники, вызванные механическими причинами (вращение вала двигателя и лопастей крыльчатки) менее заметны, а на запи-

си Рес.А и вовсе «маскируются» низкочастотным шумом. Отсюда можно сделать вывод, что характерные спектральные составляющие уверенно регистрируются вне зависимости от устройства, используемого для записи акустического сигнала, а менее выраженные компоненты могут «потеряться» в шумах и для их уверенного детектирования потребуются предварительная обработка (фильтрация) сигнала или использование специально обученной нейросети.

Анализ спектральных составляющих позволяет определить текущее состояние вентилятора, наличие разбалансировки ротора, износа подшипников, целостности элементов конструкции и крепления. Для уверенного детектирования значимых диагностических признаков необходимо набирать статистику работы различных типов вентиляторов с целью последующего обучения нейросетевой модели.

Библиографический список

1. Grosse, C. U., & Ohtsu, M. (Eds.). (2022). Acoustic Emission Testing. Springer Science & Business Media. – Текст : непосредственный.
2. Sikorska, J. Z., Hodkiewicz, M., & Ma, L. (2011). Prognostic modeling options for remaining useful life estimation by industry. Mechanical Systems and Signal Processing, 25(5), 1803–1836. – Текст : непосредственный.
3. Sinha, J. K., Elbibah, K., & D. M. (2014). A future possibility of vibration based condition monitoring of rotating machines. Journal of Engineering and Technology, 4(1), 1–19. – Текст : непосредственный.
4. Капранов, Б. И. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1 : учебное пособие / Б. И. Капранов, М. М. Коротков. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 186 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 23829–85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения. – Текст : непосредственный.
6. Lei, Y., Yang, B., Jiang, X., Jia, F., Li, N., & Nandi, A. K. (2020). Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap. Mechanical Systems and Signal Processing, 138, 106587. – Текст : непосредственный.
7. Zhao, Z., Li, T., Wu, J., Sun, C., Wang, R., Yan, R., & Chen, X. (2020). Deep learning algorithms for rotating machinery intelligent diagnosis: An open source benchmark study. ISA Transactions, 107, 224–255. – Текст : непосредственный.

Л. В. Козиенко, В. А. Охват

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА 70–80 ГГц

В статье рассматриваются особенности организации системы радиорелейной связи (радиомоста) диапазона 70–80 ГГц (E-band). Использование бесплатно лицензируемого диапазона 70–80 ГГц позволяет организовать беспроводные каналы со скоростью передачи данных до 10 Гбит/с и выше, что соответствует магистральным каналам операторского класса. Подобные системы находят применение в опорных сетях мобильной связи для соединения базовых станций 5G/4G/LTE, создания широкополосных беспроводных сетей, организации подключений «последней мили» и связи с удалёнными объектами.

Ключевые слова: радиорелейная связь, РРЛ, беспроводная связь, радиомост, IDU, ODU, E-band.

В настоящее время в результате постоянного увеличения объёма передаваемых данных, значительно повышаются требования к пропускной способности, надёжности и задержкам телекоммуникационной инфраструктуры. Наряду с волоконно-оптическими линиями связи, которые традиционно используются при организации магистральных каналов, существует технология, которая уже несколько десятилетий остаётся незаменимым инструментом для построения высокоскоростных сетей связи – это радиорелейная связь [1].

Радиорелейные линии (РРЛ) представляют собой направленные беспроводные системы передачи данных, в которых сигнал распространяется в свободном пространстве между цепочкой ретрансляционных станций (пролётов), расположенных, как правило, в прямой видимости друг от друга. Исторически РРЛ использовались для организации систем дальней связи и резервирования магистральных проводных каналов [2], однако современные РРЛ применяются для решения широкого круга задач:

- организации магистральных каналов связи между узлами связи и центрами обработки данных;
- построения соединительных линий (backhaul) между базовыми станциями сотовой связи (включая 4G/LTE и 5G) и опорной сетью;
- резервирования оптоволоконных линий и линий атмосферной оптики для обеспечения бесперебойной работы в случае их повреждения;

- преодоления естественных и искусственных преград (рек, оврагов, железнодорожных путей, городских магистралей), где прокладка кабеля экономически нецелесообразна или технически невозможна;
- организации временных или оперативно-разворачиваемых сетей во время чрезвычайных ситуаций, массовых мероприятий или для нужд обороны.

Ключевыми преимуществами РРЛ являются высокая скорость развёртывания сети, значительная экономия средств по сравнению с прокладкой оптического волокна, в т. ч. на участках со сложным рельефом, а также возможность обеспечения высокой доступности канала связи.

Постоянно растущие объёмы передаваемых данных, особенно в условиях развертывания сетей пятого поколения (5G), предъявляют новые требования к организации РРЛ [3, 4]. Традиционные диапазоны 6–38 ГГц, характеризуются перегруженностью частотного спектра и зачастую не могут обеспечить гигабитные скорости в одном радиоканале. Решением этой проблемы является освоение миллиметрового диапазона волн, в частности интервала 70–80 ГГц (E-band) [5–7]. Широкая полоса пропускания, доступная в данном диапазоне, обеспечивает исключительную пропускную способность, а использование направленных антенн позволяет минимизировать взаимные помехи между различными радиосистемами и повысить безопасность передачи данных. Особенность миллиметровых волн – квазиоптическое распространение сигнала (подобно лучу лазера). Это позволяет устанавливать связь в любой электромагнитной обстановке, как днём так и ночью. Кроме того, диапазон E-band (71–76/81–86 ГГц) разрешен для организации широкополосной гражданской связи как в России, так и в других странах [8]. Использование диапазона E-band даёт возможность запустить оборудование в эксплуатацию в кратчайшие сроки без ожидания разрешения на частоты. РРЛ регистрируется после ввода в эксплуатацию в местном региональном управлении Роскомнадзора.

В простейшем случае РРЛ представляет собой соединение типа «точка-точка», позволяющее соединить два объекта без использования кабельной линии. Такое соединение также называют радиомостом. На железной дороге радиомосты зачастую используются для подключения удалённых абонентов, прокладка кабеля к которым невозможна или затруднена, либо экономически нецелесообразна.

В состав радиомоста входят направленная антенна (рефлектор), уличный приёмопередающий модуль – радиоблок ODU (Outdoor Unit), внутренний модуль IDU (Indoor Unit), подсистема электропитания и комплект соединительных проводов (направленных линий-волноводов, коаксиальных или оптических кабелей).

При наличии стандартных интерфейсов Gigabit Ethernet / 10Gigabit Ethernet, модули радиомоста могут непосредственно подключаться к каналообразующему сетевому оборудованию, такому как магистральные маршрутизаторы или управляемые коммутаторы уровня L3.

Для функционирования радиомоста необходимо наличие прямой видимости между антеннами. Линией прямой видимости называется условная прямая, соединяющая оси антенн приёмопередатчиков (радиорелейных станций), направленных друг на друга. Обязательное условие – между антеннами станций должна обеспечиваться линия прямой видимости и никакие препятствия, даже такие незначительные как листва деревьев не должны препятствовать прохождению радиоволн. Пересечение линии прямой видимости с высоковольтной линией электропередач также может привести к сбоям при передаче данных.

В диапазоне миллиметровых волн значительно снижена вероятность возникновения помех из-за переотражения от различных поверхностей, таких как стены или крыши домов. Длина волны такова, что луч эффективно рассеивается и поглощается при первом же отражении, что снижает общий уровень отражённых сигналов. Данный фактор совместно с узкой диаграммой направленности антенн позволяет располагать на ограниченной территории большое число одновременно работающих радиомостов. При этом обеспечивается отсутствие взаимных помех между радиомостами, одновременно работающих в одном диапазоне.

Другой особенностью радиомостов на миллиметровых волнах является зависимость радиоизлучения от затухания в атмосферных газах и при дожде (рис. 1). При взаимодействии излучения с атмосферной средой возникают процессы рассеяния, ослабления и деполяризации излучения, а также амплитудные и фазовые искажения сигналов.

В частности, такое ослабление обусловлено наличием молекул кислорода и водяного пара на частотах 22 ГГц (H_2O), 60 ГГц (O_2), 120 ГГц (O_2) и 180 ГГц (H_2O). Поэтому при выборе диапазонов и проектировании аппаратуры разработчики стараются не использовать эти частоты, а наоборот, выделять для работы участки спектра в тех областях, где наблюдаются локальные минимумы поглощений [9, 10].

К примеру, диапазон 71–76 ГГц и парный к нему диапазон 81–86 ГГц, как раз являются участками локальных минимумов ослабления в атмосфере от молекул кислорода и водяного пара, что обеспечивает повышенную дальность связи.

Распространению радиоволн препятствуют лишь объекты с размерами, сопоставимыми с длиной волны радиомоста. Длина волны в диапазоне 71–76 / 81–86 ГГц составляет 4–5 мм, – соответственно, радиомо-

сты, работающие в этом диапазоне подвержены влиянию и достаточно мелких капель дождя.

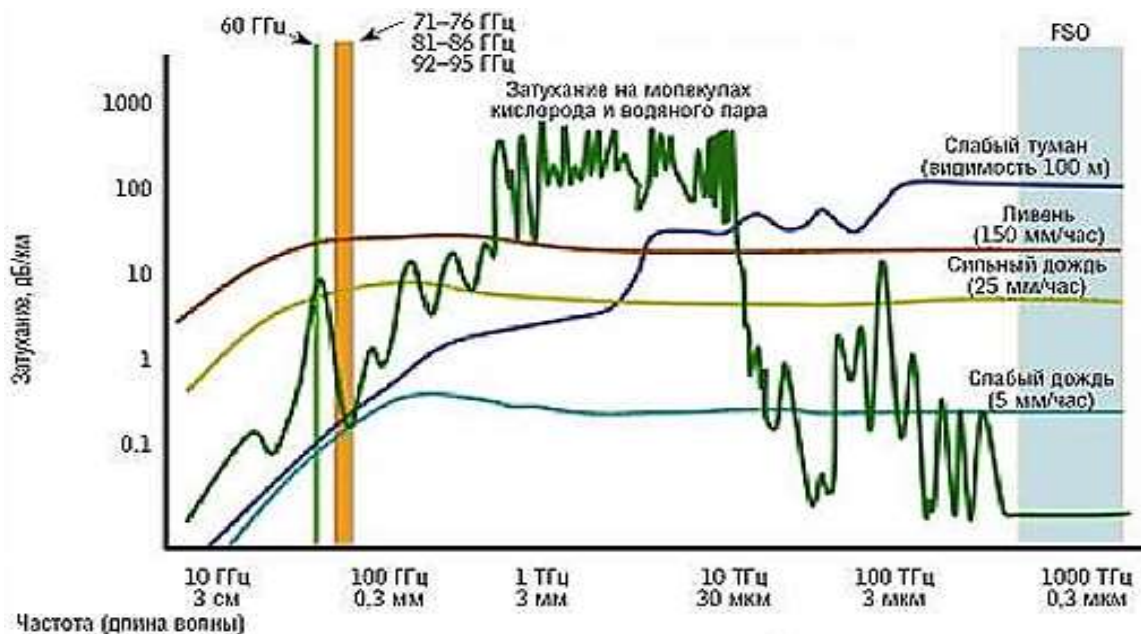


Рис. 1. Затухание сигнала РРЛ в зависимости от частоты

В связи с этим, при расчёте дальности действия радиомоста принимают во внимание статистику дождевых осадков в регионе. Считается, что линию можно назвать «всепогодной», если 99,9 % времени в году на данной территории не может идти настолько сильный дождь, что он ослабит сигнал вплоть до потери связи между приёмопередатчиками радиомоста.

Особым требованием к установке приёмопередатчиков является полное отсутствие каких-либо препятствий в так называемой первой (ближней) зоне Френеля. Зонами Френеля называются серии концентрических эллипсов, начинающихся от антенны вдоль линии прямой видимости. Требование чистоты первой зоны Френеля связано с тем, что в ближней зоне антенны её диаграмма направленности ещё не сформирована и наличие переотражений приведет к нестабильной работе радиомоста.

На практике выполнение правила свободной зоны Френеля означает, что приёмопередатчик должен быть установлен на самом краю крыши или иной высотной конструкции. Минимальное расстояние от центра антенны (в пределах радиуса передней полусферы) до препятствий в первой зоне Френеля от длины трассы (см. Таблицу) [11].

Таблица

**Зависимость минимального расстояния
до препятствия от длины трассы**

Длина трассы, км	Размер зоны Френеля (71–76/81–86 ГГц), м
1	1,0
2	1,4
5	2,3
10	3,1

Современные РРЛ, как правило, строятся по двухблочной архитектуре, состоящей из вынесенного наружного блока (Outdoor Unit, ODU) и стационарного внутреннего блока (Indoor Unit, IDU). Такое разделение обусловлено оптимизацией производительности, надёжности и удобства обслуживания системы.

Внешний блок ODU представляет собой активное радиочастотное оборудование, размещаемое непосредственно на мачте или опоре в непосредственной близости от антенны. Его главная задача – преобразование и усиление сигнала на последнем этапе передачи и на первом этапе приёма.

Конструктивно и функционально ODU содержит следующие элементы:

- *Высокочастотный трансивер* (приёмопередатчик), который модулирует сигнал промежуточной частоты (ПЧ), поступающий по кабелю от IDU, и переносит его на радиочастоту заданного диапазона (например, 70–80 ГГц) для передачи. При приёме он выполняет обратную операцию: преобразует принятый высокочастотный сигнал в сигнал ПЧ для отправки на IDU.

- *Усилитель мощности* (Power Amplifier, PA), служащий для усиления передаваемого радиочастотного сигнала до уровня, необходимого для уверенного приёма на удаленной станции.

- *Малошумящий усилитель* (Low-Noise Amplifier, LNA) усиливает принятый слабый сигнал, внося при этом минимальные шумы, что важно для сохранения хорошего отношения сигнал/шум и, как следствие, высокой доступности канала.

- *Частотный фильтр* обеспечивает одновременную работу передатчика и приёмника на одну антенну, разделяя передаваемый и принимаемый сигналы и предотвращая их взаимное влияние.

- *Защитный корпус* выполняется в виде герметичного контейнера (бокса), стойкого к ультрафиолетовому излучению, перепадам температур (обычно в диапазоне от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$), атмосферным осадкам и обледенению.

ODU размещают на мачте или трубостойке как можно ближе к антенне, зачастую закрепляют непосредственно на ней для минимизации потерь в волноводе (рис. 2). При этом возможна работа аппаратуры различных производителей, но для этого радиоблок ODU и антенна должны иметь одинаковые разъёмы волноводных каналов (рис. 3). Также необходимо учитывать, что любая деформация антенны относительно её фланца приведёт к нарушению диаграммы направленности и неработоспособности радиомоста.



Рис. 2. Пример типового монтажа радиоблока ODU и антенны E-band диапазона на трубостойке



Рис. 3. Внешний вид радиоблока ODU и антенны E-band диапазона

Внутренний блок IDU представляет собой модуль, устанавливаемый в защищённом помещении (например, в серверной стойке оператора связи). Он отвечает за обработку и коммутацию информационных потоков, питание и мониторинг всей системы РРЛ.

Функциональные компоненты IDU включают в себя:

- *Модем* (цифровой сигнальный процессор), выполняющий основные функции кодирования/декодирования сигналов (например, с использованием кодов с прямым исправлением ошибок – FEC), модуляции/демодуляции высокоскоростного цифрового потока, формирование сообщения (пакета) и его последующее считывание после приёма.

- *Сетевые интерфейсы* предоставляют физические порты для подключения к магистральной сети оператора (например, Ethernet 1–10 Гбит/с, OTN, SDH/SONET). IDU агрегирует трафик от пользователей и подготавливает его для передачи по радиоканалу РРЛ.

- *Блок питания* обеспечивает электропитание всех элементов РРЛ и запитывается от стационарной сети (например, –48 В постоянного тока) или автономного (резервного) источника.

- *Система управления и мониторинга* обеспечивает локальный и удалённый мониторинг параметров системы (уровень принимаемого сигнала, мощность передатчика, температура ODU, ошибки и т. д.), а также позволяет производить конфигурацию и диагностику.

Традиционно связь между IDU и ODU осуществляется по одному или нескольким коаксиальным кабелям. По этим кабелям передаются сигнал промежуточной частоты (ПЧ) – от IDU к ODU и обратно, постоянное напряжение питания для ODU – от IDU, а также служебная информация и данные телеметрии.

В современных гигабитных РРЛ связь между IDU и ODU осуществляется по оптическому волокну с использованием SFP-модулей из-за большого затухания в коаксиальном кабеле на высоких частотах 70–80 ГГц. При этом питание для ODU обычно подаётся по отдельному кабелю (например, витой паре).

Переход на «оптическую» архитектуру (All-Optical Fronthaul) между блоками IDU и ODU является отраслевым стандартом для высокоскоростных беспроводных систем связи. Также при построении современных РРЛ систем применяется оборудование, построенное по архитектуре All-in-One (интегрированная антенна и ODU) или IDU-ODU с оптическим интерфейсом. Такие комплекты отличаются малыми габаритами и низким энергопотреблением.

Следует отметить, что радиорелейные системы связи в миллиметровом диапазоне, и в частности в диапазоне E-band (70/80 ГГц), уже

не являются нишевым решением и превратились в важный элемент современной телекоммуникационной инфраструктуры. В условиях, когда традиционные частотные ресурсы ниже 40 ГГц перегружены, а спрос на пропускную способность продолжает расти, именно миллиметровый диапазон открывает путь к созданию беспроводных магистралей с мультигигабитными скоростями.

Ключевая роль РРЛ миллиметрового диапазона заключается в их способности обеспечить высокую скорость передачи данных там, где прокладка оптического волокна экономически нецелесообразна, технически невозможна или требуется в сжатые сроки. При этом данные системы представляют собой не просто альтернативу оптоволокну, а самостоятельный, высокотехнологичный класс решений, который занимает свою стратегическую нишу в архитектуре сетей связи следующего поколения.

Библиографический список

1. Маковеева, М. М. Радиорелейные линии связи / М. М. Маковеева. – Москва : Радио и связь, 1988. – 312 с. – Текст : непосредственный.
2. Миркин, В. В. Эволюция отечественных систем радиорелейной связи / В. В. Миркин. – Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 120–125.
3. Dahlman, E., Parkvall, S., and Skold, J. 2018. 5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology (1st. ed.). Elsevier, (Aug, 2018). – Текст : непосредственный.
4. Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C. K., Zhang, J. C. What Will 5G Be? – IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 32, No. 6, June 2014. – Текст : непосредственный.
5. Вишневский, В. М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G : монография / В. М. Вишневский, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Текст : непосредственный. – Москва : Техносфера, 2009. – 472 с. – ISBN 978-5-94836-223-6. – EDN RBBCWL.
6. Вишневский, В. Радиорелейные линии связи в миллиметровом диапазоне: новые горизонты скоростей / В. Вишневский, И. Шахнович, С. Фролов. – Текст : непосредственный // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2011. – № 1 (107). – С. 90–97. – EDN OJCBKD.
7. Rappaport, T. S., Heath Jr., R. W., Daniels, R. C., Murdock, J. N. Millimeter Wave Wireless Communications. – Pearson Education, 2015. – Текст : непосредственный.
8. ETSI EN 302 217-2 V3.1.1 (2017-05) Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas; Part 2:

Digital systems operating in frequency bands from 1 GHz to 86 GHz; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU. – Текст : непосредственный.

9. Lehpamer, H. Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment. – McGraw-Hill Education, 2010. – Текст : непосредственный.

10. Оценка пригодности интервала связи высокоскоростных радиорелейных линий связи диапазона миллиметровых волн / С. А. Якушенко, С. О. Бурлаков, А. Н. Забело [и др.]. – Текст : непосредственный // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 25. – С. 706–714. – EDN OHKWSQ.

11. Радиорелейная станция PPC-10G. Инструкция по эксплуатации (PPC-10G ИЭ). – Санкт-Петербург : ДОК, 2025. – Текст : непосредственный.

Е. В. Козин

*Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Применение современных технологий позволяет ускорять и улучшать процессы геодезических измерений в строительстве железных дорог. Строительство и обслуживание железных дорог является сложным и многогранным процессом, который требует постоянного мониторинга, точного планирования и оперативного реагирования на изменения при их эксплуатации. В последние годы беспилотные воздушные суда (БВС) стали активно применяться в строительстве железных дорог, тем самым, помогая повысить эффективность контроля, сократить затраты и минимизировать риски. БВС позволяют получать высокоточную информацию о ходе строительства железных дорог, выявлять дефекты при строительстве и оптимизировать логистику работ. В статье автор затрагивает вопросы основных направлений и преимуществ применения БВС в строительстве железных дорог.

Ключевые слова: беспилотное воздушное судно, железная дорога, лидарная система, обработка, строительство.

Геодезическая подготовка является одним из основных этапов строительства железных дорог. Стоит отметить, что традиционные классические методы геодезии, включающие использование современных геодезических приборов, инструментов и различных спутниковых систем позиционирования, требуют достаточно значительных временных и финансовых затрат. Между тем, в современной геодезии применение БВС становится все более распространенным. Известно, что БВС, которые представляют собой автономные устройства, способные осуществлять полеты без присутствия пилота на борту позволяют повысить оперативность предоставления геопространственных данных, выполняя высокоточную аэросъемку для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) местности, построение трехмерных моделей и карт местности с точностью до нескольких сантиметров.

Для получения необходимой и точной информации о подстилающей поверхности в последнее время широко применяются лидарные системы, благодаря применению которых на БВС можно детально сканировать рельеф местности даже под густой растительностью, что особенно важно при прокладке новых железнодорожных магистралей. Последние научные исследования подтверждают, что применение лидарных систем повышают безопасность и эффективность строительства железных дорог из-за высокой точности, возможности создания различных геовидеопродуктов, быстрому сбору геодезических данных, работе в сложных условиях (туман, пыль) и устойчивости к помехам. Можно отметить, что эти системы позволяют проводить точное 3D-картографирование, мониторинг состояния пути, обнаружение препятствий и деформаций, а также интегрироваться с другими системами для комплексного анализа и контроля результатов строительства.

Стоит отметить, что к преимуществам лидарных систем на БВС в строительстве железных дорог следует отнести высокую точность и детализацию изучения местности, быстроту сбора данных, работу в сложных условиях, сканирование больших площадей земной поверхности, работу в любое время суток, в условиях тумана и пыли, мобильность, обнаружение препятствий и деформаций, устойчивость к помехам, интеграцию с другими системами.

В дальнейшем данные с БВС интегрируются в программное обеспечение для фотограмметрической обработки, что позволяет строить точные цифровые модели рельефа местности и выявлять отклонения от требуемых проектных параметров [1, 2].

Создание ЦМР с помощью БВС состоит в процессе фотограмметрической обработки аэроснимков для получения точного 3D-представления

местности. Это сложный процесс, который включает в себя полет БВС с камерой над участком работ, получение большого количества перекрывающихся снимков, а затем их автоматизированную фотограмметрическую обработку для создания точечного облака геопривязанных точек, из которого формируется ЦМР. В сравнении с традиционными методами, этот подход позволяет получить высокодетализированные и точные данные в довольно короткие сроки и за более низкую стоимость, особенно для небольших или труднодоступных территорий.

На первом этапе создания ЦМР планируются аэрофотосъемочные работы с помощью БВС. Эти работы включают непосредственно определение площади съемки и планирование маршрута полета БВС. При этом учитывается, БВС выполняет полет, делая множество снимков с высоким разрешением и значительным перекрытием.

На втором этапе производится обработка аэроснимков с помощью фотограмметрического программного обеспечения по расчету положения и ориентации каждого снимка относительно друг друга и земной поверхности района работ. Из обработанных снимков формируется плотное облако геопривязанных точек, где каждая точка имеет точные пространственные координаты. Используя специальные алгоритмы, выполняется автоматическая классификация точек, отделяя рельеф от объектов на поверхности, таких как здания и растительность.

Этап непосредственного построения цифровой модели рельефа местности на основе классифицированных точек представляется в виде растра, т. е. сетки пикселей с высотами или в виде векторной триангулированной нерегулярной сети (TIN). При этом полученная модель содержит информацию только о рельефе местности, без учета объектов на поверхности. Для отображения всех объектов используется цифровая модель местности (ЦММ).

Построенная ЦМР позволяет проводить анализ рельефа, определять морфометрические показатели (высота, уклон, экспозиция склона), а также выполнять другие операции, например, создание карт уклонов местности в строительстве железных дорог.

Кроме того, БВС позволяют оперативно отслеживать ход строительства, фиксировать нарушения технологий укладки железнодорожного полотна или других этапов дорожных работ. С помощью тепловизоров можно выявлять дефекты укладки железнодорожного полотна [3].

Своевременное обнаружение таких дефектов снижает вероятность раннего разрушения железнодорожного покрытия и продлевает срок его эксплуатации при высокоскоростном движении в дальнейшем.

БВС помогают отслеживать перемещение техники и материалов в строительстве железных дорог, сокращая время на принятие решений по логистике. Это позволяет более эффективно распределять рабочую силу и технику, снижать простои из-за несогласованности действий, контролировать соблюдение техники безопасности на объекте.

Автоматический анализ данных, собранных БВС, помогает выявлять потенциально опасные участки и предотвращать аварийные ситуации.

Между тем, стоит отметить, что строительство железных дорог может оказывать значительное воздействие на окружающую среду. БВС позволяют проводить мониторинг состояния водоёмов, растительности, а также уровня запылённости воздуха. С их помощью можно [4, 5]:

- выявлять несанкционированные свалки строительных отходов,
- контролировать эрозию почвы в зонах строительства,
- оценивать уровень воздействия работ на экосистему.

Эти данные помогают строительным компаниям соблюдать экологические нормы и снижать штрафные санкции за нарушение природоохранного законодательства Российской Федерации.

После завершения строительных работ железнодорожное полотно дороги требует регулярного систематического осмотра и ремонта. БВС позволяют быстро проводить диагностику полотна и выявлять трещины и выбоины, деформацию полотна, износ материала, барьерных ограждений.

Благодаря применению БВС можно своевременно принимать меры по ремонту полотна дорог, предотвращая его дальнейшее разрушение.

Экономическая целесообразность и эффективность применения БВС при железнодорожном строительстве заключается в оценивании полученного эффекта с затратами (например, снижение затрат на логистику, повышение производительности, доходами, экономией), а организационная – через улучшение скорости принятия решений, оптимизации логистических цепочек, автоматизации процессов и снижения рисков.

Использование БВС для доставки, мониторинга может значительно сократить расходы по сравнению с традиционными классическими методами, например, за счет исключения необходимости использования наземной или водной техники.

БВС могут выполнять задачи быстрее и чаще, чем люди, что приводит к увеличению объемов выполненных работ за единицу времени. Рост производительности и снижение операционных расходов напрямую влияют на увеличение прибыльности предприятия.

БВС позволяют более эффективно использовать имеющиеся ресурсы, например, за счет точного мониторинга состояния железнодорожной

инфраструктуры. Организационная эффективность связана с улучшением внутренних процессов и структуры строительной компании благодаря интеграции БВС. Быстрый сбор и анализ данных с помощью БВС позволяют оперативно принимать управленческие решения. Использование БВС для быстрой доставки или мониторинга грузов может значительно сократить сроки и повысить надежность логистических цепочек.

БВС берут на себя монотонные и трудоемкие задачи, например, обследование территорий, что освобождает персонал для более важных операций. Применение БВС для работ в опасных или труднодоступных местах снижает риски для человеческого здоровья и жизни, а также уменьшает вероятность травматизма на производстве. БВС, оснащенные различными датчиками, предоставляют точные и актуальные данные для анализа, что способствует повышению качества принимаемых решений.

Заключение

В заключении необходимо отметить, что применение беспилотных воздушных судов в строительстве железных дорог открывает новые возможности для повышения эффективности и качества организации и проведения геодезических работ. Современные технологии позволяют не только контролировать строительство и ремонт дорог, но и оптимизировать логистику, минимизировать экологический ущерб и улучшить безопасность на объектах. Внедрение БВС в геодезические работы позволяет получать точные геопространственные данные для планирования и контроля строительства, снижая риск проектных погрешностей.

В ближайшей перспективе развитие искусственного интеллекта и автоматизированной обработки геопространственных данных позволит еще больше расширить функциональные возможности БВС, делая железнодорожное строительство более технологичным и устойчивым.

Библиографический список

1. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов. – Москва : Недра, 1984. – Текст : непосредственный.
2. Турк, Г. Г. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в геодезии / Г. Г. Турк, Н. К. Карачёв. – Белгород : Вектор ГеоНаук, 2023. – С. 56–60. – Текст : непосредственный.
3. Соловьёв, А. Н. Основы геодезии и топографии : учебник / А. Н. Соловьёв. – Москва : Лань, 2020. – 240 с. – Текст : непосредственный.

4. Авакян, В. В. Прикладная геодезия. Технологии инженерно-геодезических работ : учебник / В. В. Авакян. – Москва : Инфра-Инженерия, 2019. – 616 с. – Текст : непосредственный.

5. Трунин, А. П. Фототеодолитная съёмка в крупных масштабах / А. П. Трунин, И. И. Финаревский, С. В. Чистяков. – Москва : Недра, 1970. – Текст : непосредственный.

С. В. Крикунов, О. В. Латышев

*Красноярский институт железнодорожного транспорта –
филиал ФГБОУ ВО ИрГУПС,
г. Красноярск, Россия*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕГРУЗОК НА ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

В статье рассматриваются современные методы защиты электрооборудования тяговых подстанций от перенапряжений и перегрузок. Анализируются технические характеристики ограничителей перенапряжений нового поколения, представлена методология выбора защитных устройств для различных элементов инфраструктуры электрифицированных железных дорог. Исследованы критерии координации изоляции и защитных аппаратов, рассмотрены энергетические параметры современных устройств защиты. Приведены практические рекомендации по применению ограничителей перенапряжений на тяговых подстанциях постоянного и переменного тока. Результаты исследования демонстрируют эффективность использования современных защитных устройств для обеспечения надёжной работы критически важного оборудования железнодорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: ограничитель перенапряжений, тяговая подстанция, защита электрооборудования, грозовые перенапряжения, коммутационные перенапряжения, координация изоляции, контактная сеть, железнодорожный транспорт, энергетическая устойчивость, электрическая безопасность.

Введение

Надёжная работа электрифицированных железных дорог определяется комплексом организационно-технических мероприятий, направленных на защиту электрооборудования от различных видов перенапряже-

ний [1]. Железнодорожные системы характеризуются повышенной чувствительностью к импульсным воздействиям, поскольку перенапряжения и перегрузки по току, вызванные ударами молнии, способны повредить все виды оборудования по каналам электропитания и передачи сигналов, что создает угрозу безопасности и нормальной эксплуатации всей транспортной системы [3].

Современные железнодорожные системы все более активно внедряют передовые технологии распределения электроэнергии, сигнализации, управления и передачи данных. Однако повышение уровня автоматизации сопровождается возрастанием уязвимости электронного оборудования к воздействию перенапряжений [2]. Железнодорожные линии, широко разветвляющиеся на значительные расстояния, представляют собой идеальную мишень для ударов молнии во время грозовой активности. При типичном шторме более десяти тысяч ударов молнии остаются незаметными для наблюдателя, однако каждый из них содержит достаточную энергию для повреждения чувствительного электронного оборудования [3].

Защита от атмосферных перенапряжений традиционно осуществлялась с использованием молниеотводов устройств, роговых и трубчатых разрядников. Вентильные разрядники применялись для защиты элементов электрических систем от коммутационных перенапряжений [8]. В настоящее время в электрических сетях расширяется применение защитных аппаратов нового поколения – ограничителей перенапряжений, выполненных на резисторах с резко нелинейными вольт-амперными характеристиками [4]. Эффективность применения ограничителей перенапряжений заключается в возможности глубокого ограничения как атмосферных, так и коммутационных перенапряжений при обеспечении длительной устойчивости к рабочим напряжениям сети [8].

Актуальность проблемы защиты подстанций от набегающих волн перенапряжений и помех определяется необходимостью обеспечения непрерывности транспортного процесса и безопасности пассажирских перевозок [5]. Анализ системы заземления и защиты от перенапряжения подстанций показывает важность комплексного подхода к проектированию защитных мероприятий [6]. Выбор рациональных параметров устройств защиты от перенапряжений для электрооборудования трансформаторных подстанций требует учета множества технических факторов и режимов работы сети [9].

Методология исследования

Методология исследования основывается на анализе международных стандартов в области защиты от перенапряжений, в частности, ре-

комендаций МЭК 60099-4 и МЭК 60099-5, а также специализированных документов Организации сотрудничества железных дорог [8]. Исследование включает систематизацию критериев выбора защитных устройств и разработку алгоритмов координации параметров ограничителей перенапряжений с характеристиками защищаемого оборудования.

В рамках исследования проведен анализ устройств и современных методов защиты от перенапряжений, применяемых на электрифицированных железных дорогах [7]. Рассмотрены основные типы перенапряжений, воздействующих на элементы тяговой сети: атмосферные перенапряжения, возникающие при прямых и косвенных ударах молнии; коммутационные перенапряжения, связанные с переключениями в сети; перенапряжения, характерные для железнодорожных систем, обусловленные особенностями тягового электроснабжения.

Методика выбора ограничителей перенапряжений предусматривает последовательное определение следующих параметров: длительно допустимого рабочего напряжения, определяемого наибольшим рабочим напряжением сети; нормированного напряжения, характеризующего устойчивость к кратковременным повышениям напряжения; номинального разрядного тока, выбираемого с учетом грозовой активности региона; пропускной способности, определяющей энергетическую устойчивость устройства; защитных параметров, координируемых с испытательными напряжениями защищаемого оборудования [8].

Для оценки энергетической устойчивости ограничителей перенапряжений используются расчетные методы, учитывающие энергию заряда емкостных элементов сети и трансформаторного оборудования. Координация защитных уровней осуществляется с применением коэффициентов запаса, обеспечивающих надежную защиту изоляции при различных видах перенапряжений.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования свидетельствуют о необходимости дифференцированного подхода к выбору защитных устройств для различных элементов инфраструктуры тяговых подстанций. Защита высоковольтных подстанций от импульсных перенапряжений требует комплексного решения, включающего внешнюю молниезащиту, систему заземления и внутреннюю защиту от перенапряжений [10].

Анализ требований к основным параметрам ограничителей перенапряжений для тяговых подстанций постоянного тока позволил систематизировать критерии выбора защитных устройств. Рассмотрим основные технические характеристики современных ограничителей перенапряжений, регламентированные международными стандартами (табл. 1).

Таблица 1

Основные нормированные параметры ограничителей перенапряжений согласно МЭК 60099-4

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Назначение параметра
Длительно допустимое напряжение	Уд	кВ	Определяет устойчивость к рабочему напряжению сети
Нормированное напряжение	Унор	кВ	Характеризует устойчивость к кратковременным перенапряжениям
Номинальный разрядный ток	Ин	кА	Определяет защитный уровень и энергетическую способность
Остаточное напряжение при грозовом токе	Уост.г	кВ	Характеризует эффективность защиты от атмосферных перенапряжений
Остаточное напряжение при коммутационном токе	Уост.к	кВ	Определяет защиту от коммутационных перенапряжений
Удельная энергоемкость	Wуд	кДж/кВ	Характеризует способность поглощения энергии

Источник: составлено автором по данным [3, 8]

Представленные параметры формируют комплексную систему технических требований к современным устройствам защиты. Длительно допустимое напряжение должно соответствовать условию $Уд \geq Ун.р$, где $Ун.р$ – наибольшее рабочее напряжение сети [8]. Нормированное напряжение выбирается с учетом возможных кратковременных повышений напряжения, продолжительность которых может составлять от долей секунды до нескольких часов в зависимости от режима заземления нейтрали.

Для электрифицированных железных дорог характерна высокая грозовая активность, что обуславливает необходимость применения ограничителей перенапряжений с номинальным разрядным током не менее 10 кА [8]. Классификация ограничителей по пропускной способности представлена в следующей табл. 2.

Классификация по пропускной способности позволяет дифференцировать применение ограничителей перенапряжений в зависимости от условий эксплуатации и характеристик защищаемого оборудования. Для защиты фидеров контактной сети достаточно применения устройств

класса 1, в то время как для защиты тяговых подстанций с выпрямительными агрегатами рекомендуются устройства класса 3 и выше.

Таблица 2

**Классификация ограничителей перенапряжений
по пропускной способности**

Класс	Номинальный ток (8/20 мкс), А	Ток коммутационной волны (2000 мкс), А	Удельная энергия поглощения, кДж/кВ	Сильный ток, кА
1	5000–10000	250–400	1,0–2,0	65
2	10000	401–750	2,1–3,2	100
3	10000	751–1100	3,3–4,5	100
4	10000–20000	1101–1600	4,6–6,0	100
5	20000	1601–2000	6,1–7,0	100

Источник: составлено автором по данным [3, 8]

Практическое применение ограничителей перенапряжений на тяговых подстанциях требует определения конкретных значений параметров для различных элементов электрооборудования. Рассмотрим требования к параметрам защитных устройств для подстанций постоянного тока напряжением 3,3 кВ (табл. 3)

Таблица 3

**Параметры ограничителей перенапряжений
для защиты элементов тяговой подстанции 3,3 кВ**

Защищаемый объект	Уд, кВ	Унор, кВ	И _н , кА	U _{ост.г} , кВ	Класс про- пускной способности	Энергоемкость, кДж/кВ
Фидеры контактной сети	≥4,0	≥4,2	10	≤87	1	1,0
Выпрямительные аг- регаты	≥4,0	≥4,2	10	≤12	3	≥4,0
Питающий транс- форматор 35 кВ	≥35	≥40,5	10	≤156, 5	1	1,0

Источник: составлено автором по данным [3, 8]

Представленные данные в табл. 3 демонстрируют различие требований к защитным устройствам в зависимости от характеристик защищаемого оборудования. Наиболее жесткие требования по остаточному напряжению предъявляются к ограничителям, защищающим выпрями-

тельные агрегаты, что обусловлено низкой импульсной прочностью полупроводниковых элементов. Одновременно для этих устройств требуется повышенная энергоемкость, связанная с необходимостью поглощения энергии, накопленной в емкостях сглаживающих фильтров.

Для систем переменного тока напряжением 27,5 кВ характерны иные параметры защитных устройств, что определяется спецификой режимов работы и уровнями изоляции оборудования (табл. 4).

Таблица 4

**Параметры ограничителей перенапряжений
для тяговых подстанций переменного тока 27,5 кВ**

Защищаемый объект	U _д , кВ	U _{нор} , кВ	I _н , кА	U _{ост.г} , кВ	U _{ост.к} , кВ	Класс	W _{уд} , кДж/кВ
Контактная сеть	≥30	≥37,5	10	≤213	—	1	1,0
Тяговый трансформатор	≥30	≥37,5	10	≤147,8	≤90,0	1	1,0

Источник: составлено автором по данным [3, 8]

Координация защитных характеристик ограничителей перенапряжений с параметрами защищаемого оборудования осуществляется с использованием коэффициентов запаса. Для атмосферных перенапряжений коэффициент координации принимается равным 1,15, что обеспечивает соотношение $U_{ост.г} \leq U_{в.имп}/1,15$, где $U_{в.имп}$ – испытательное импульсное напряжение изоляции [8]. Для коммутационных перенапряжений применяется корректирующий коэффициент в диапазоне 1,0-1,1 в зависимости от частоты возникновения перенапряжений.

Энергетическая устойчивость ограничителей перенапряжений определяется их способностью поглощать энергию без нарушения тепловой стабильности. Для линий контактной сети с погонной емкостью 0,014 мкФ/км при расчетной длине 100 км энергия заряда сети составляет 0,11 кДж для постоянного тока 3,3 кВ и 7,56 кДж для переменного тока 27,5 кВ. Данные значения существенно ниже энергетических возможностей современных ограничителей перенапряжений класса 1, что обеспечивает надежную защиту при многократных воздействиях перенапряжений [8].

Практическая реализация защиты тяговых подстанций предусматривает не только правильный выбор параметров устройств, но и оптимальное размещение ограничителей перенапряжений. Максимальное защитное расстояние между ограничителем и защищаемым оборудованием определяется с учетом волновых процессов в соединительных про-

водниках. Для трансформаторного оборудования рекомендуется уменьшение расчетного защитного расстояния в 2,5 раза и более, что связано с влиянием собственной емкости трансформатора на входные колебания напряжения.

Заключение

Результаты проведенного исследования подтверждают эффективность применения современных ограничителей перенапряжений для защиты электрооборудования тяговых подстанций. Использование устройств с нелинейными вольт-амперными характеристиками обеспечивает глубокое ограничение как атмосферных, так и коммутационных перенапряжений при сохранении длительной устойчивости к рабочим напряжениям сети.

Разработанная методология выбора параметров ограничителей перенапряжений позволяет осуществлять координацию защитных характеристик с параметрами защищаемого оборудования на основе международных стандартов. Классификация устройств по пропускной способности обеспечивает возможность оптимального выбора защитных аппаратов для различных элементов инфраструктуры электрифицированных железных дорог – от фидеров контактной сети до выпрямительных агрегатов и силовых трансформаторов.

Установлено, что для защиты фидеров контактной сети достаточно применения ограничителей класса 1 с номинальным током 10 кА и удельной энергоемкостью 1 кДж/кВ. Защита выпрямительных агрегатов требует использования устройств класса 3 с повышенной энергоемкостью не менее 4 кДж/кВ, что обусловлено необходимостью поглощения энергии, накопленной в сглаживающих фильтрах. Для питающих трансформаторов критическое значение имеет оптимизация расположения защитных устройств с учетом влияния собственной емкости оборудования на волновые процессы.

Практическое внедрение современных систем защиты от перенапряжений способствует повышению надежности электроснабжения железнодорожного транспорта, сокращению эксплуатационных расходов, связанных с ремонтом поврежденного оборудования, и обеспечению безопасности движения. Дальнейшее совершенствование методов защиты должно учитывать развитие цифровых технологий управления железнодорожными системами и возрастающую чувствительность электронного оборудования к электромагнитным помехам.

Библиографический список

1. Буняева, А. Е. Устройства защиты электрооборудования воздушных судов от перенапряжения на примере автомата защиты от перенапряжения АЗП-1МА / А. Е. Буняева, Д. И. Сагитов. – Текст : непосредственный // Научный аспект. – 2024. – Т. 35, № 4. – С. 4592–4597. – EDN NICOGN.

2. Гадышева, Ю. Н. Защита от перенапряжений на подстанциях / Ю. Н. Гадышева, О. А. Иванова. – Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные научные исследования в современном мире : сборник научных статей по материалам VIII международной научно-практической конференции, Уфа, 14 января 2025 г. – Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2025. – С. 41–47. – EDN VUQFVX.

3. Защита от перенапряжения. – URL : <https://lsp.global/ru/surge-protection-for-rail-traffic/> (дата обращения: 12.02.2026). – Текст : электронный.

4. Кайроллаев, Н. Н. Новые методы защиты подстанций и воздушных линий от перенапряжений / Н. Н. Кайроллаев, С. А. Айтмагамбетова. – Текст : непосредственный // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екибастуз, 15 мая 2025 г. – Прокопьевск : Кузбасский государственный технический университет, 2025. – С. 316–323. – EDN BYQOZK.

5. Нугманов, Х. С. Проблемы защиты подстанций от набегающих волн перенапряжений и помех подстанций 110 кв / Х. С. Нугманов, В. Д. Сандаков. – Текст : непосредственный // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике : материалы Международной молодёжной научно-практической конференции, посвящённой 55-летию КГЭУ, Казань, 08–10 ноября 2023 г. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 129–131. – EDN PSKLAR.

6. Пириева, Н. М. Анализ системы заземления и защиты от перенапряжения подстанции / Н. М. Пириева, У. И. Махмудов. – Текст : непосредственный // Флагман науки. – 2024. – № 1 (12). – С. 323–326. – DOI 10.37539/2949-1991.2024.1.12.020. – EDN BNUUDC.

7. Пириева, Н. М. Анализ устройств и современных методов защиты от перенапряжений / Н. М. Пириева, Я. О. Мамедов. – Текст : непосредственный // Вестник науки. – 2025. – Т. 4, № 4 (85). – С. 1149–1157. – EDN FMYVFS.

8. Рекомендации по выбору и применению ограничителей перенапряжения на электрифицированных железных дорогах. – URL :

<https://osjd.org/api/media/resources/6762> (дата обращения: 12.02.2026). – Текст : электронный.

9. Свистунов, Н. А. Выбор рациональных параметров устройств защиты от перенапряжений электрооборудования трансформаторных подстанций / Н. А. Свистунов. – Текст : непосредственный // 61-я научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием : сборник докладов. В 2-х частях. Тула, 03–07 февраля 2025 г. – Тула : Тульский государственный университет, 2025. – С. 68–74. – EDN XANVPY.

10. Хазиев, И. Н. Защита высоковольтных подстанций от импульсных перенапряжений / И. Н. Хазиев. – Текст : непосредственный // XXVII всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика и 55-летию КГЭУ : материалы докладов. Казань, 05-06 декабря 2023 г. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 627–630. – EDN KDJPZ.

Александр Николаевич Малых,

Алексей Николаевич Малых,

А. В. Иванов

Российский университет транспорта (МИИТ),

г. Москва, Россия

АНАЛИЗ УЧЁТА ОТКАЗОВ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассмотрен вопрос учёта инцидентов в функционировании объектов транспортной инфраструктуры в информационных системах железнодорожного транспорта, проанализирована классификация инцидентов, установленная согласно действующим нормативным документам, показаны её недостатки, а также предложена разработанная авторами классификация инцидентов на отказы и неисправности, обоснованы её преимущества.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика, информационные системы железнодорожного транспорта, надёжность.

На железных дорогах Российской Федерации применяется ряд подходов, устанавливающих порядок классификации и учета инцидентов, связанных с надежностью технических средств железнодорожной инфраструктуры. Эти инциденты подлежат учету в информационных си-

стемах железнодорожного транспорта [1]. Основные положения этих подходов отражены в следующих нормативных документах:

- Положение об учете, расследовании и анализе отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАСАНТ, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 1 октября 2018 г. № 2160 [2];

- СТО РЖД 02.046-2014 «Классификация инцидентов, вызывающих нарушения графика движения поездов», утвержден распоряжением ОАО «РЖД» № 1223р от 19 мая 2014 г. [3];

- Классификатор отступлений от норм содержания устройств СЦБ для расчета показателей (АС АНШ), утвержденный распоряжением № ЦДИ-1194 от 07.12.2017 г. [4];

- Классификатор отступления от норм содержания устройств СЦБ, отказов и предотказных состояний средств ЖАТ, выявляемых средствами ТДМ и транслируемый в систему АС АНШ, утвержденный распоряжением № ЦДИ-1909/пр от 02.11.2017 г. [5] и ряд других документов.

В зависимости от последствий нарушения функционирования технических средств инфраструктуры и подвижного состава в документе [2] установлена следующая классификация отказов и неисправностей:

Первая категория – отказы, приведшие к задержке поезда (пассажирского, пригородного или грузового) на станции или перегоне на 1 час и более, либо событиям, связанным с безопасностью технологического процесса движения поездов и эксплуатации технических средств.

Вторая категория – отказы, приведшие к задержке на станции или перегоне либо пассажирского или грузового поезда на период от 6 минут (0,1 часа) до 1 часа, либо грузового поезда на период от 15 минут (0,25 часа) до 1 часа.

Третья категория отказов (также называемая «неисправностями») – события, заключающиеся в нарушении функционирования технических средств, не имеющие последствий, относящихся к отказам первой и второй категории. При этом учет неисправностей производится первоначально в рамках автоматизированных систем управления хозяйствами (АСУ-П, АСУ-Т, АСУ-Ш-2 и др.).

В свою очередь, для обозначения различных событий, связанных с нарушением исправного состояния технических систем железнодорожного транспорта, в информационных системах применяются другие термины, такие как «предотказное состояние», «отступление от норм содержания» и т. д.

Предложенная в документе классификация с точки зрения управления надежностью технических средств имеет следующие недостатки:

- отказы 3 категории не рассматриваются в большинстве отчетов и не учитываются в расчетах в ряде методических указаний и нормативных документов вследствие незначительного влияния на перевозочный процесс;

- отказы различных категорий в большинстве случаев имеют одинаковые критерии, причины и предпосылки, а разделение на категории отражает только апостериорную оценку влияния отдельного события на перевозочный процесс;

- влияние отказов на перевозочный процесс преимущественно зависит не от типа отказа, а от времени восстановления и интенсивности движения на участке;

- в отказы 1 и 2 категории попадают только те отказы, которые невозможно скрыть и поместить в 3 категорию, категорию предостережений или отступлений от норм содержания.

Следовательно, для устранения указанных выше недостатков и повышения качества управления надежностью технических средств железнодорожного транспорта предлагается единый порядок классификации инцидентов, согласованный с действующими нормативными документами.

Рассмотренные далее определения взяты из стандарта [6], в свою очередь взятые понятия аналогичны представленным в стандарте [7].

Согласно [6] «отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта», а работоспособное состояние выражается тем, что значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции соответствуют требованиям нормативной и технической документации.

В свою очередь, неисправное состояние объекта – это состояние, при котором хотя бы один параметр объекта не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации. К возможным переходам в это состояние относятся события «повреждение», «сбой», «ошибка» и т. д.

Вывод о том, что понятие «отказ» всегда связано с потерей функции также сделан в работах [8] и [9].

Предлагаемый авторами подход к классификации инцидентов основывается на переходе конкретного объекта транспортной инфраструктуры либо в неисправное работоспособное состояние, либо неработоспособное состояние. Неработоспособное состояние объекта железнодорожной инфраструктуры выражается в невозможности движения поездов по соответствующему железнодорожному участку с максимальной разрешенной скоростью, что, в свою очередь, приводит к снижению

наличной пропускной способности участка. Таким образом, если в момент отказа, либо до его устранения, поезд находится в пределах перегона или станции с отказавшим объектом железнодорожной инфраструктуры, то такая ситуация приведет к задержке в движении поездов.

Из множества инцидентов, которые могут произойти с конкретным объектом инфраструктуры, можно выделить подмножество инцидентов, которые могут потенциально привести к задержкам в движении поездов. Такие инциденты в соответствии с [6] в новой классификации предлагается называть «отказами». В действующей классификации [2] (в т. ч. [7]) такие инциденты назывались отказами 1, 2 или 3 категории в зависимости от величины последствий. Отказ может считаться полным или частичным, в зависимости от возможности продолжения движения поезда по станции или перегону.

Также можно выделить подмножество инцидентов, которые, не могут привести к задержкам в движении поездов. Такие инциденты в соответствии с [6] предлагается называть «повреждениями» или «неисправностями». В действующей классификации эти события обычно рассматриваются как «отступления от норм содержания» или «предотказы».

Для однозначной классификации инцидентов предлагается ввести и утвердить в качестве нормативного документа классификатор, составленный на основании экспертной оценки и опыта эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры.

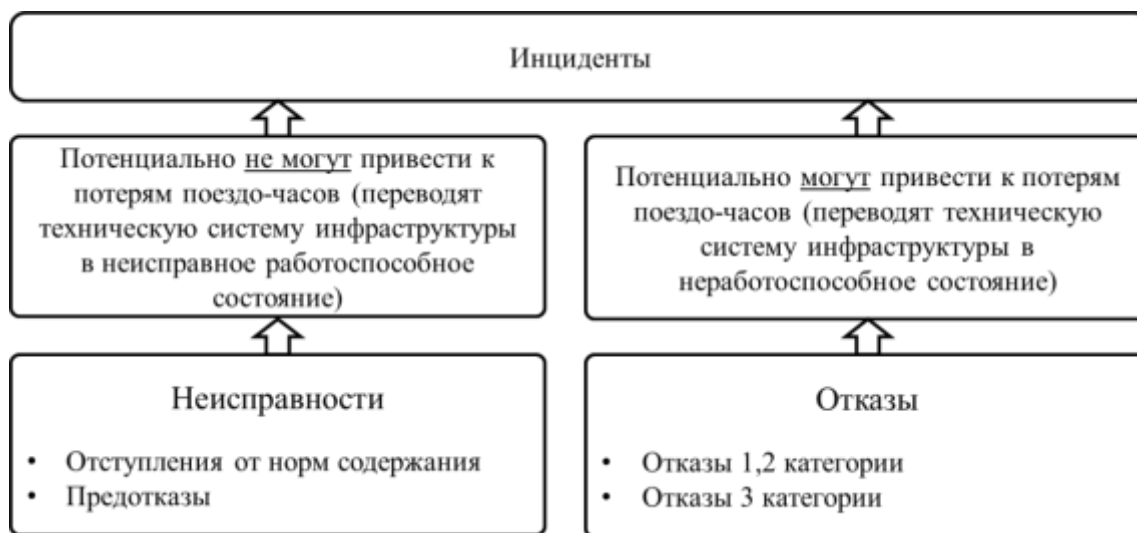


Рисунок. Предлагаемая классификация инцидентов, связанных с функционированием объектов транспортной инфраструктуры

Классификатор инцидентов должен включать все классы объектов транспортной инфраструктуры и содержать все виды событий, связан-

ных с функционированием объектов транспортной инфраструктуры и учитываемых в информационных системах железнодорожного транспорта КАСАНТ, АС АНШ и т. д. Эти виды событий должны быть экспертным методом сопоставлены с потенциальной возможностью перехода соответствующего объекта транспортной инфраструктуры в неработоспособное состояние и отнесены либо к отказам, либо неисправностям (см. Таблицу).

Таблица

Пример классификатора инцидентов, связанных с функционированием объектов транспортной инфраструктуры

Вид инцидента (события)	Тип инцидента
Класс объекта: Рельсовые цепи	
Отсутствие/неисправность стыкового основного соединителя	Отказ
Логическая свобода	Отказ
...	...
Нестабильное поведение параметров	Неисправность
Неправильный монтаж проводов (провода не заведены в кабель-канал)	Неисправность
Класс объекта: Светофор проходной	
Перегорание нитей ламп запрещающего огня	Отказ
...	...
Загрязнение литер	Неисправность
Неправильный монтаж проводов (отсутствие изоляции концов монтажа/кабеля)	Неисправность

При использовании классификатора предполагается возможность смены типа инцидента «Неисправность» на «Отказ» в случае подтверждения непосредственной связи потери функциональности (задержки в движении поездов) с данным типом инцидента у конкретного типа объекта транспортной инфраструктуры.

В перспективе при анализе надежности функционирования объектов транспортной инфраструктуры необходима обработка статистических данных об отказах и неисправностях технических средств с целью вычисления прогнозного значения величины задержки в движении поезда, связанного с конкретным видом инцидента.

Библиографический список

1. Особенности применения информационных систем для управления инфраструктурным комплексом железнодорожного транспорта / А. В. Горелик, А. В. Дорохов, А. В. Орлов, И. Г. Скрипниченко, О. С. Шерстюков //

Современные наукоёмкие технологии. – 2020. – № 6 (часть 2). – С. 228–233). – URL : <https://doi.org/10.17513/snt.38097>. – Текст : электронный.

2. Положение об учёте, расследовании и анализе отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАСАНТ [утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 1 октября 2018 г. № 2160]. – Текст : непосредственный.

3. СТО РЖД 02.046-2014 «Классификация инцидентов, вызывающих нарушения графика движения поездов» [утверждён распоряжением ОАО «РЖД» № 1223р от 19 мая 2014 г.]. – Текст : непосредственный.

4. Классификатор отступлений от норм содержания устройств СЦБ для расчёта показателей (АС АНШ) [утверждён распоряжением № ЦДИ-1194 от 07.12.2017 г.]. – Текст : непосредственный.

5. Классификатор отступления от норм содержания устройств СЦБ, отказов и предотказных состояний средств ЖАТ, выявляемых средствами ТДМ и транслируемый в систему АС АНШ [утверждён распоряжением № ЦДИ-1909/пр от 02.11.2017 г.]. – Текст : непосредственный.

6. ГОСТ Р 27.102-2021 Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения. – Текст : непосредственный.

7. ГОСТ 32192-2013 Надёжность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. – Текст : непосредственный.

8. Шубинский, И. Б. Надёжность, риски, безопасность систем управления на железнодорожном транспорте : монография / И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг, А. В. Бочков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 416 с. – Текст : непосредственный.

9. Шубинский, И. Б. Ошибки, неисправности и отказы / И. Б. Шубинский, Х. Шебе // Надёжность. – 2021. – № 2. – С. 24–27. – URL : <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2021-21-2-24-27>. – Текст : электронный.

А. С. Маниковский, Т. Д. Яковлев, Д. А. Яковлев
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО И ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В статье исследуется проблема высоких потерь электроэнергии в системах тягового электроснабжения железных дорог, вызванных уравнительными токами. Эти токи возникают из-за неидентичных параметров питания тяговых подстанций от внешней сети (различия

напряжений, схемы с транзитом мощности, двойная трансформация). На примере Читинской дистанции электроснабжения (ЭЧ-1) представлен анализ нагрузок и уровней напряжения. Для снижения потерь предложено внедрение автоматизированного устройства регулирования под напряжением (АУРПН), которое на основе данных АСКУЭ выравнивает напряжения на смежных подстанциях, оптимизирует режимы сети и повышает энергоэффективность.

Ключевые слова: системе тягового электроснабжения, энергосистемам, электрифицированная железная дорога, линия электропередачи, уравнительный ток, транзит мощности, тяговая подстанция, автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии, фидер контактной сети.

Железнодорожный транспорт, потребляющий более 4,5 % электроэнергии страны, является энергоемкой отраслью, где доля затрат на электроэнергию достигает 9 % от общих эксплуатационных расходов. В соответствии со «Стратегией развития до 2030 г.» внедрение энергосберегающих технологий стало ключевым приоритетом. Одной из серьезных проблем являются высокие потери энергии в системе тягового электроснабжения, вызванные несовершенством согласования с внешними энергосистемами, в частности, значительными уравнительными токами в тяговой сети [1].

Эти уравнительные токи, соизмеримые с мощностью тяговой нагрузки, приводят к существенным финансовым потерям, особенно при низкой интенсивности движения и высокой стоимости энергии. Для минимизации убытков необходимы разработка методик измерения уравнительных токов, создание экономичных схем питания тяговой сети и внедрение технических средств, снижающих потери. Решение этих задач критически важно для повышения энергоэффективности железнодорожного транспорта в целом [2].

Электрифицированная железная дорога переменного тока представляет собой специфического потребителя электроэнергии, характеризующегося несимметричной, нелинейной и переменной нагрузкой. Ключевая особенность заключается в её протяженности, что исключает возможность питания всех тяговых подстанций от одного узла энергосистемы. Как правило, тяговые подстанции (ТП) получают питание от различных узлов одной или нескольких энергосистем, имеющих различные внешние характеристики.

Различия в модуле и фазе напряжений в узлах подключения ТП к энергосистемам, а также их неидентичные характеристики, приводят

к возникновению в системе тягового электроснабжения так называемых уравнильных токов (уравнильных потоков мощности). Эти токи циркулируют по контактной сети между узлами питания даже в отсутствие тяговой нагрузки, что является нормальным режимом работы [2]. Однако чрезмерные уравнильные токи наносят значительный экономический ущерб, обусловленный:

- Повышенными технологическими потерями электроэнергии.
- Снижением пропускной способности контактной сети.

Несовершенство согласования систем внешнего и тягового электроснабжения требует разработки и внедрения эффективных технических и режимных решений [3].

Для характерного примера рассмотрим Читинскую дистанцию электроснабжения (ЭЧ-1) в состав входят пять тяговых подстанций: Сохондо, Лесная, Чита-1, Новая, Карымская. Тяговые подстанции Сохондо, Чита-1, Новая, Карымская по схеме присоединения к системе внешнего электроснабжения являются транзитными и получают питание от линии электропередачи (ЛЭП) 220 кВ. Тяговая подстанция Лесная является отпаечной и получает питание от шин 110 кВ районной подстанции, показанная на рис. 1. Питание со стороны внешней энергосистемы поступает от районных подстанций Забайкальская и Теплоэлектроцентр-1 (ТЭЦ-1).

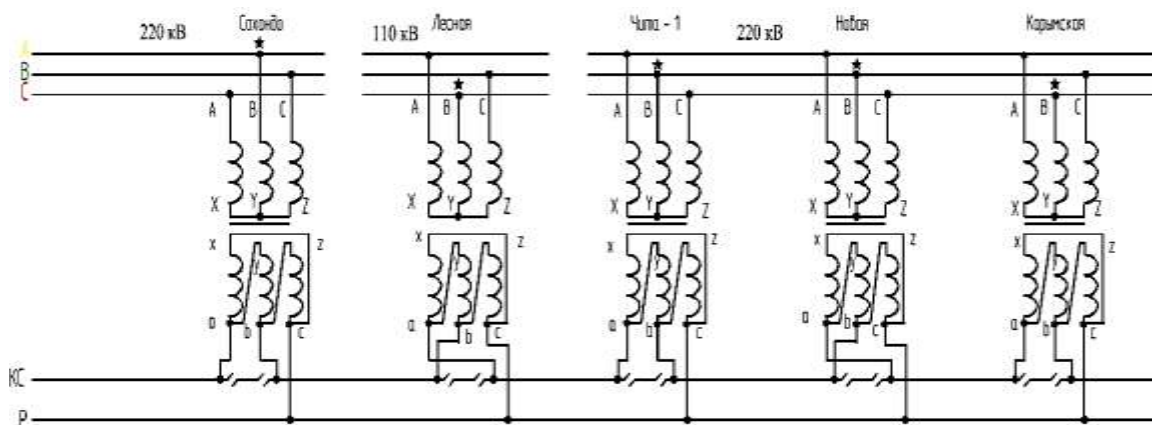


Рис. 1. Фазировка тяговых подстанций Читинской дистанции электроснабжения

Проведенный анализ позволил систематизировать наиболее часто встречающиеся на практике случаи, приводящие к росту уравнильных токов и потерь энергии.

Типовая схема с транзитом мощности по ЛЭП. Протекание мощности транзита по линии электропередачи вызывает уравнильный ток в тяговой сети, совпадающий по направлению с мощностью транзита [2].

При повышенном транзите перетоки по контактной сети значительно возрастают согласно рис. 2.

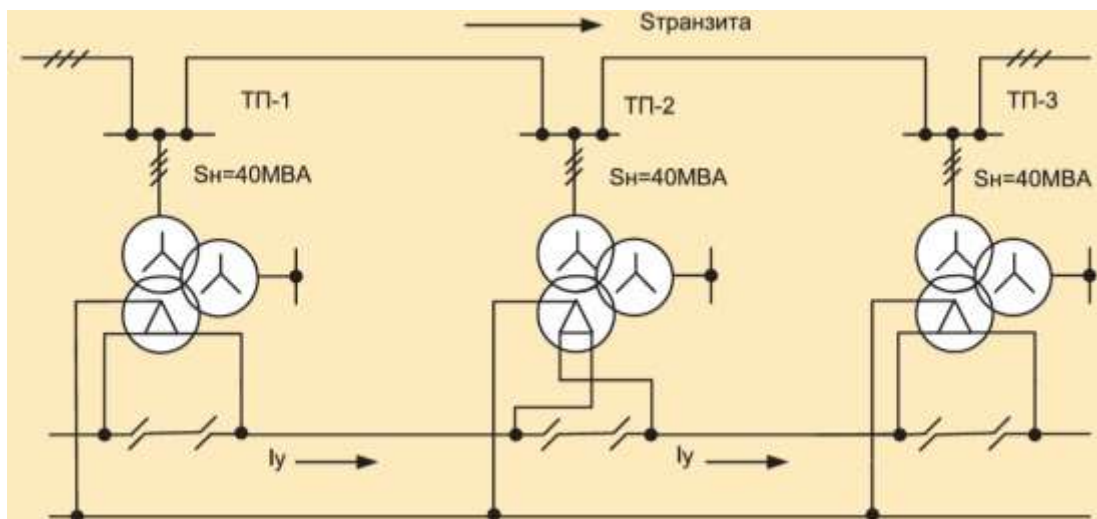


Рис. 2. Типовая схема с транзитом мощности по ЛЭП

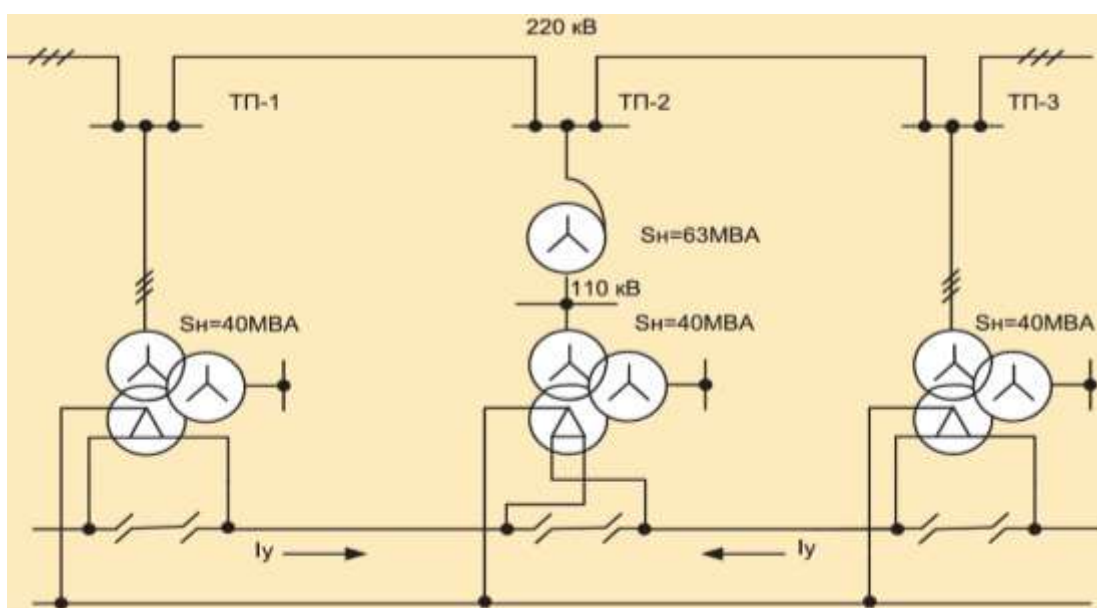


Рис. 3. Двойная трансформация

Применение двойной трансформации. На одной из ТП (ТП-2) используется двухступенчатое преобразование (например, 220/110 кВ и 110/27,5 кВ). В этом случае межподстанционная зона питается в основном от соседних ТП (ТП-1 и ТП-3), а ТП-2 принимает нагрузку лишь в непосредственной близости, что приводит к повышенным уравнильным токам согласно рис. 3.

Для оценки уровня загрузки трансформаторного оборудования тяговых подстанций выполнен анализ данных автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии за месячный период к рассмотрению принимались 30-минутные профили нагрузки по вводам 110 (220) кВ и 27,5 кВ.

Гистограммы, характеризующие 30-минутные профили средней потребляемой активной мощности по вводам понижающих трансформаторов тяговых подстанций за наиболее загруженные сутки отображены на рис. 4.

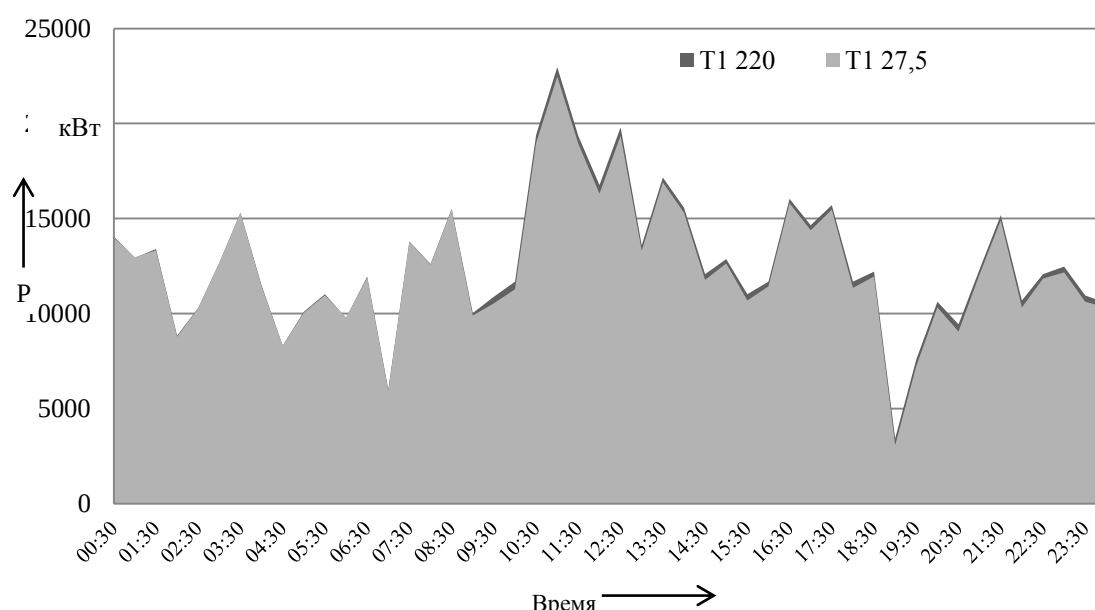


Рис. 4. Средняя потребляемая активная мощность по вводам понижающих трансформаторов тяговой подстанции Сохондо Т1

На всех тяговых подстанциях в работе находилось два трансформатора [4]. Следует отметить, что профиль потребляемой мощности отличается значительной неравномерностью, что характерно для тяговой нагрузки.

Анализ приведенных данных показывает, что усредненная за 30 минут потребляемая мощность ни в одном случае не превысила номинальную мощность понижающих трансформаторов. Наибольшее значение потребляемой мощности по одному трансформатору составило около 23 МВт на тяговой подстанции Сохондо.

Доля нетяговой нагрузки тяговых подстанций варьируется от 0 до 34,05 %. На тяговой подстанции Лесная нетяговая нагрузка отсутствует.

Динамика уровня напряжения на фидерах контактной сети, питающих межподстанционные зоны, приведена на рис. 5-6. Гистограммы распределения напряжения на шинах 27,5 кВ тяговых подстанций приведены на рис. 7–9.

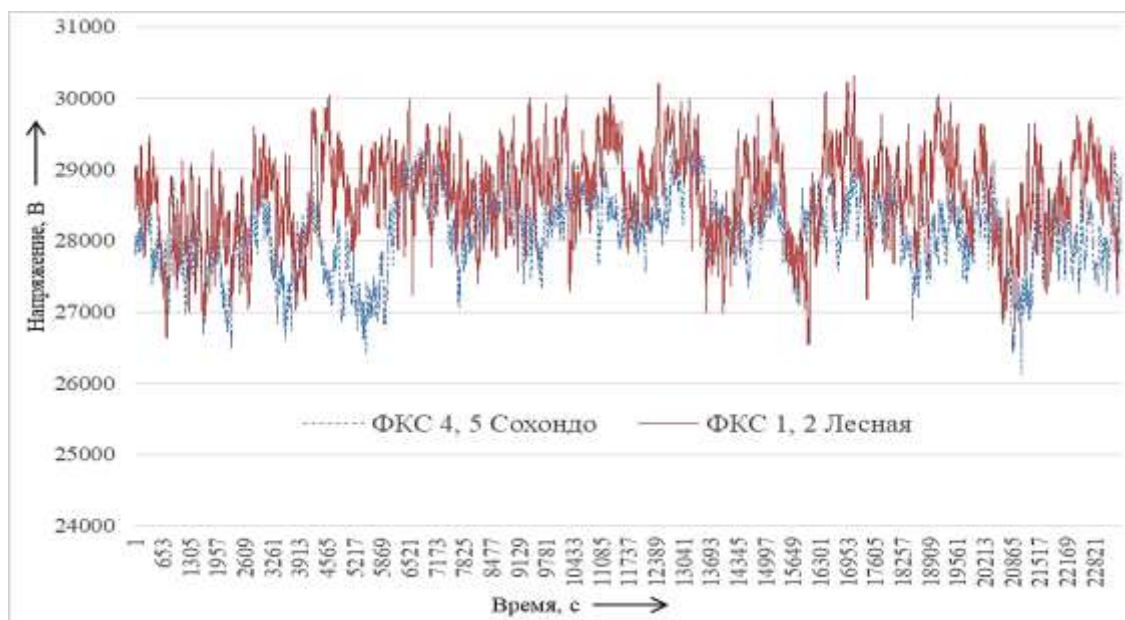


Рис. 5. Динамика уровня напряжения на фидерах контактной сети, питающих межподстанционную зону Сохондо – Лесная

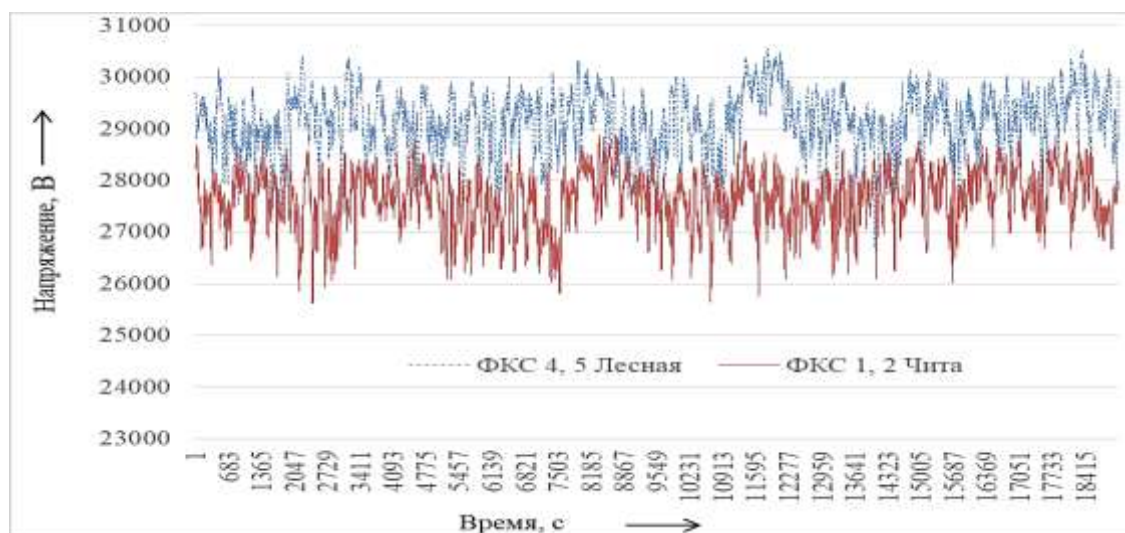


Рис. 6. Динамика уровня напряжения на фидерах контактной сети, питающих межподстанционную зону Лесная – Чита

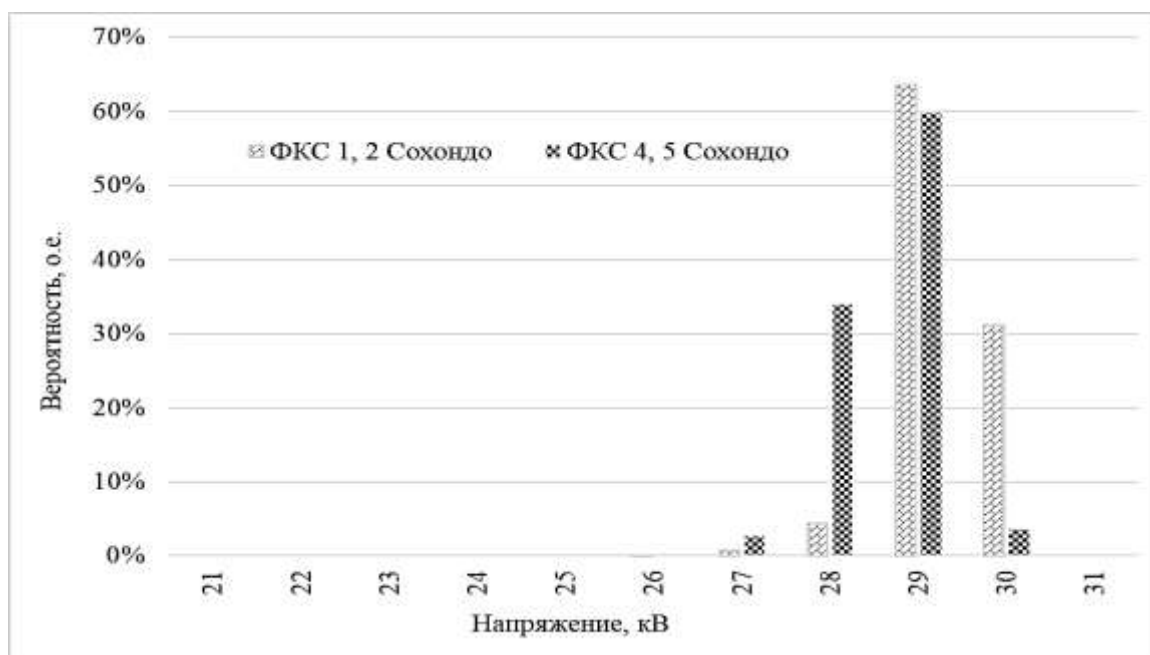


Рис. 7. Гистограмма распределения напряжения на шинах 27,5 кВ тяговой подстанции Сохондо

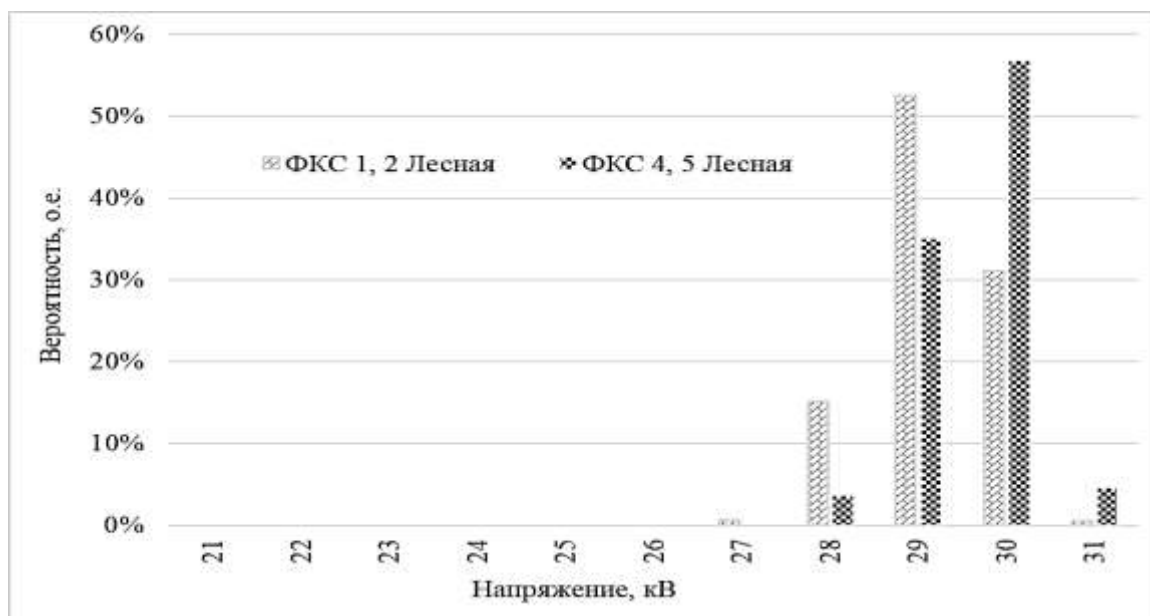


Рис. 8. Гистограмма распределения напряжения на шинах 27,5 кВ тяговой подстанции Лесная

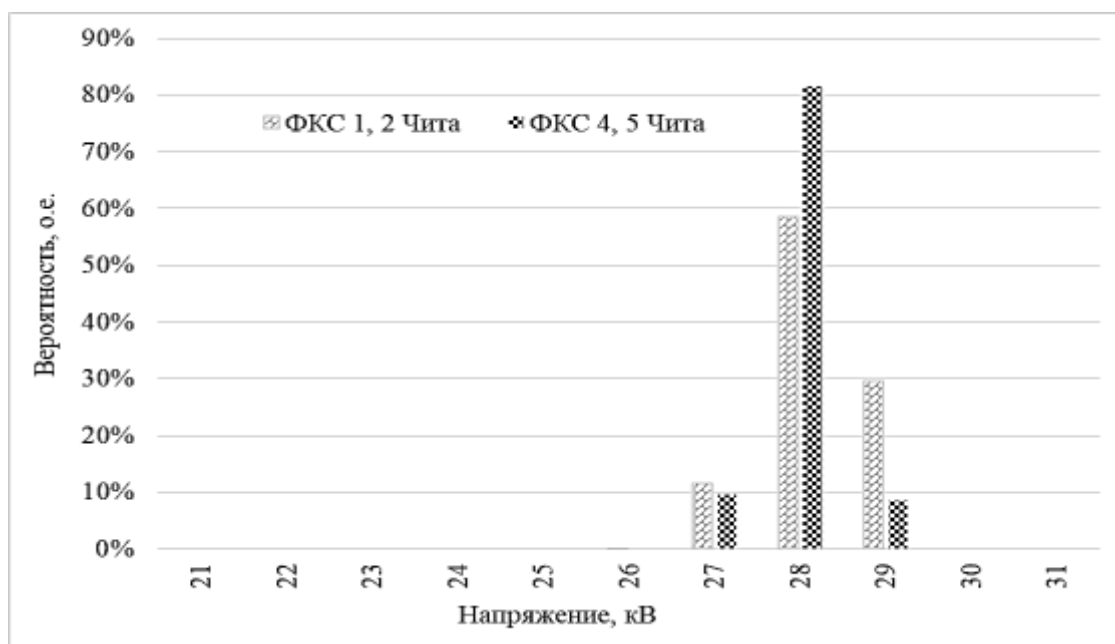


Рис. 9. Гистограмма распределения напряжения на шинах 27,5 кВ тяговой подстанции Чита

Максимальное, минимальное и среднее значение уровня напряжения на фидерах контактной сети приведены в Таблице.

Таблица

Показатели уровня напряжения на фидерах контактной сети

Место измерения		Напряжение, кВ		
		минимальное	среднее	максимальное
ТП Сохондо	ФКС 1,2	25,16	28,79	29,79
	ФКС 4,5	26,13	28,13	29,51
ТП Лесная	ФКС 1,2	26,54	28,66	30,32
	ФКС 4,5	26,65	29,13	30,55
ТП Чита-1	ФКС 1,2	25,63	27,70	28,90
	ФКС 4,5	25,43	27,52	28,50

По полученным экспериментальным данным можно сделать следующие выводы:

1. На ФКС тяговой подстанции Чита напряжение находится в допустимых границах, установленных п. 118 Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации уровня, на остальных подстанциях напряжение на ФКС превышало максимально допустимое значение напряжения 29 кВ.

2. За период измерений максимальная полная мощность на тяговых подстанциях Сохондо, Лесная и Новая превысила 40000 кВ·А (номи-

нальная мощность одного понижающего трансформатора). На тяговой подстанции Чита максимальная полная мощность составила 37000 кВ·А. Применение режима питания тяговой сети с двумя параллельно работающими трансформаторами (в т. ч. с учетом увеличения пропускной способности) целесообразно на всех тяговых подстанциях.

Измерение уравнивающих токов, основано на гармоническом анализе и равенстве токов фидеров контактной сети. По содержанию гармоник в токе и равенстве токов фидеров контактной сети, питающих рассматриваемую межподстанционную зону, определяются интервалы времени отсутствия тяговой нагрузки, т. е. наличия в тяговой сети только уравнивающего тока на основе предлагаемого автоматизированного устройства регулирования под напряжением (АУРПН) (рис. 10).

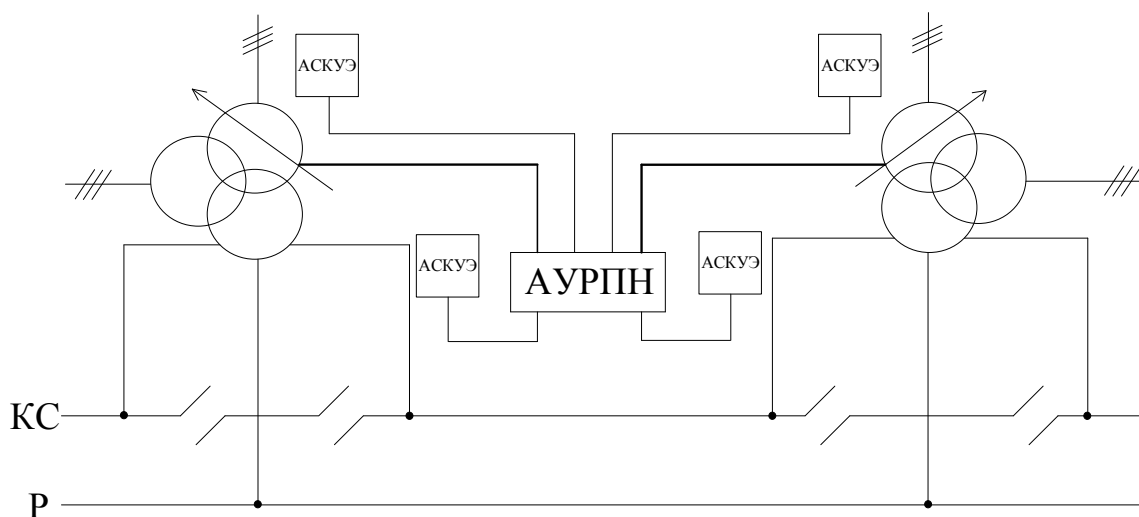


Рис. 10. Схема с устройством регулирования регулировки под напряжением

Данное устройство позволяет проводить анализ уровня напряжения с помощью АСКУЭ, находящихся на тяговых подстанциях. АУРПН учитывает собранные данные и при разнице напряжений на смежных ТП уравнивает напряжения. Основная цель устройства – обеспечение стабильного и качественного электроснабжения, что напрямую влияет на надежность работы электрооборудования, его срок службы и энергоэффективность.

Такое устройство решает следующие проблемы: компенсация потерь напряжения в линиях при изменении нагрузки, оптимизация режимов работы сети для снижения потерь электроэнергии, повышения устойчивости и пропускной способности электрических сетей.

На межподстанционных зонах Могзон – Сохондо, Чита – Новая, Новая – Карымская и Карымская – Урульга уравнивающий ток в первую

очередь обусловлен транзитом мощности по шинам 220 кВ тяговых подстанций (все тяговые подстанции по схеме подключения к системе внешнего электроснабжения являются транзитными). На межподстанционных зонах Сохондо – Лесная и Лесная – Чита уравнивающий ток направлен к тяговой подстанции Лесная, это обусловлено тем, что тяговая подстанция Лесная получает питание от шин 110 кВ районной подстанции, а тяговые Сохондо и Чита получают питание от ЛЭП 220 кВ.

Применение устройств типа АУРПН позволит эффективно осуществлять перевозочный процесс.

Библиографический список

1. Повышение эффективности сопряжения систем тягового и внешнего электроснабжения / В. Т. Черемисин, Ю. В. Кондратьев, В. А. Кващук ; А. Л. Каштанов. – Москва : Наука и транспорт. – 2006. – № 5. – С. 18–21. – Текст : непосредственный.

2. Черемисин, В. Т. Повышение эффективности систем тягового электроснабжения переменного и постоянного тока и сокращение потерь электрической энергии в них : научная монография / В. Т. Черемисин, В. А. Кващук, Ю. В. Кондратьев, Е. Ю. Салита, Т. В. Комякова, Т. В. Ковалёва ; Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2014. – 145 с. – Текст : непосредственный.

3. Герман, Л. А. Продольная ёмкостная компенсация в системе тягового электроснабжения переменного тока (расчёт, размещение и режимы работы) : учебное пособие / Л. А. Герман, Б. М. Бородулин. – Москва : МИИТ. – 2009. – 38 с. – Текст : непосредственный.

4. Марквардт, К. Г. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т. 1 / К. Г. Марквардт. – Москва : Транспорт, 1980. – 256 с. – Текст : непосредственный.

К. В. Менакер, А. М. Карташов

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИБОРА ОДНОПРОВОДНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖИЛ НАГРУЖЕННОГО КАБЕЛЯ

В устройствах автоматики, телемеханики и связи зачастую встает проблема прозвонки одиночных жил кабеля или жил кабеля, подключенных к источникам электропитания и нагрузке. Решение данной проблемы в настоящее время возможно только с помощью дорогостоящих

измерительных приборов. В работе приводятся принципиальные схемы созданного авторами простого устройства для однопроводной идентификации жил кабеля, включая нагруженный режим их работы, а также способы дальнейшего усовершенствования прибора.

Ключевые слова: однопроводная идентификация, жила кабеля, прибор, нагруженный кабель, сигнал, потенциал.

В настоящее время идентификация жил в электрическом кабеле производится двумя путями, либо путем пропуска электрического тока через идентифицируемую и замкнутую с противоположного конца соседнюю жилу, либо путем подачи с противоположного конца в идентифицируемую и соседнюю жилы электрического сигнала и приема этого сигнала на измеряемой стороне (рис. 1). Также существуют способы, основанные на измерении индуктивности проводника, электрической емкости между соседними проводниками, амплитуды и фазы отраженного сигнала. Однако, данные способы требуют применения дорогостоящих измерительных приборов и навыка работы с ними.

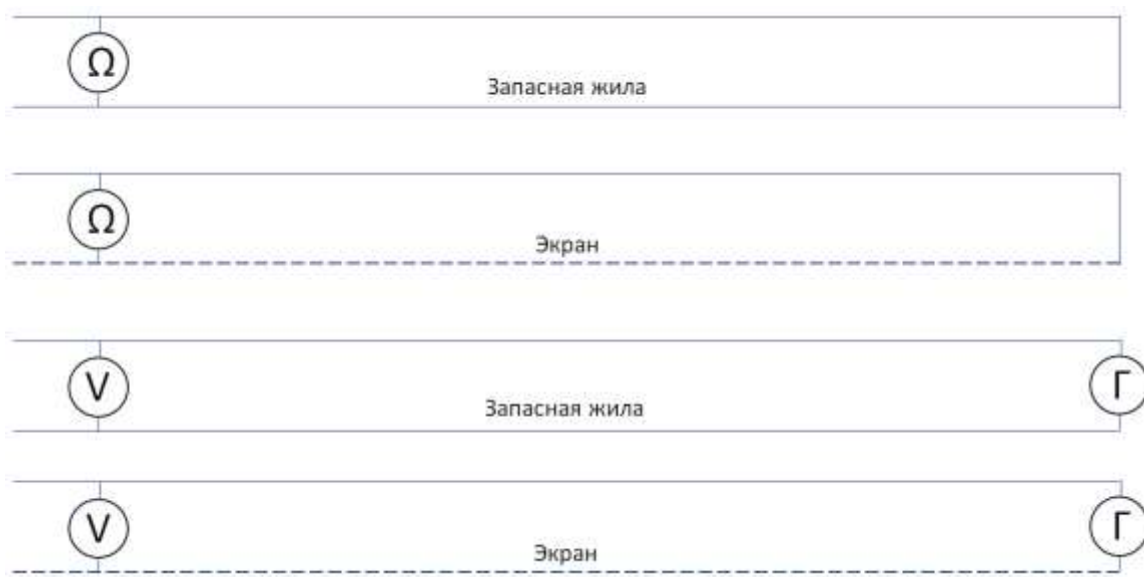


Рис. 1. Существующие простые способы идентификации жил кабеля

В случае наличия одиночных жил или жил подключенных к действующим устройствам задача идентификации проводников существенно усложняется. Для решения поставленной задачи был разработан прибор, позволяющий передавать продольные волны по одному проводнику независимо от характера его работы в других электрических цепях. Прибор состоит из генератора продольных волн и приемника (рис. 2-3) [1, 2].

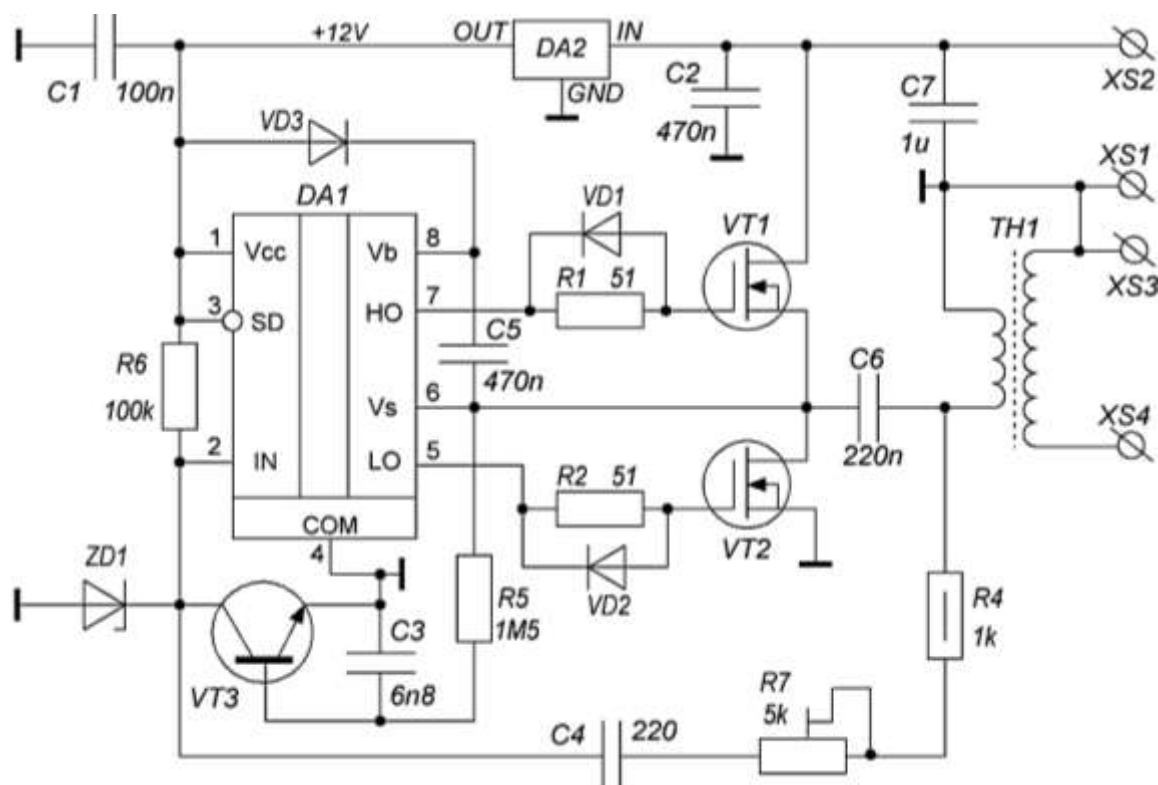


Рис. 2. Принципиальная схема генератора продольных волн

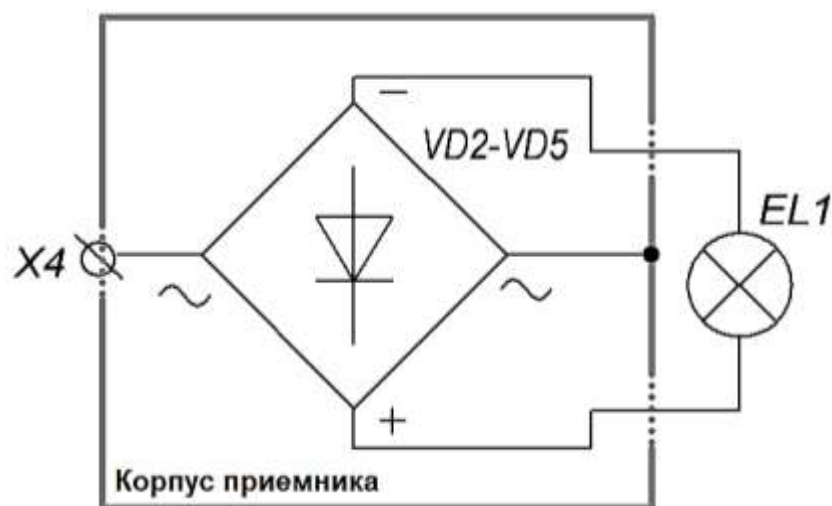


Рис. 3. Принципиальная схема приемника продольных волн

Генератор продольных волн состоит из полумостового драйвера DA1, который вводится в неустойчивый режим с помощью цепи обратной связи, образованной сопротивлением R5, емкостью C3 и транзистором VT3. Цепь положительной обратной связи R4, R7, C4 создает условия для самовозбуждения схемы на резонансной частоте, определя-

емой емкостью C_6 и индуктивностью первичной обмотки трансформатора ТН1. Транзисторные ключи VT1 и VT2, включенные по полумостовой схеме, обеспечивают пропуск тока в различных направлениях через первичную обмотку высокочастотного трансформатора ТН1. Идентифицируемый проводник подключается к верхнему концу выходной обмотки трансформатора ТН1.

Приемник продольных волн выполнен по диодной мостовой схеме с подключением второго входного плеча к собственному металлическому корпусу прибора, выполняющему роль уединенной емкости. Вторым концом идентифицируемого проводника подключается к первому входному плечу диодного моста. В случае исправности идентифицируемого проводника продольная волна от генератора доходит до диодного моста и наводит напряжение на индикаторной лампе или светодиоде.

Внешний вид созданного прибора представлен на рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид прибора для однопроводной идентификации жил кабеля

Прибор прошел всесторонние лабораторные испытания, и показал высокую эффективность при идентификации изолированных жил кабеля. Однако, при проведении измерений нагруженных жил были выявле-

ны недостатки, связанные со слабой электрической защищенностью схем генератора и приемника от сторонних источников электропитания.

С целью усовершенствования прибора предлагается на выходе генератора установить защитную цепь (рис. 5), состоящую из разделительного трансформатора Т2, ограничителя напряжения VD4, фильтра низких частот С8, L1 и варистора RU1. Вместо варистора возможно применение двунаправленного защитного диода.

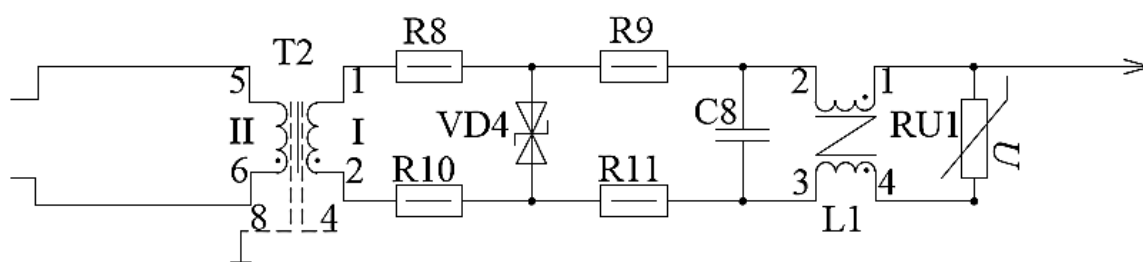


Рис. 5. Принципиальная схема защитной цепи

Запланированные опытные испытания модернизированной версии прибора однопроводной идентификации жил нагруженного кабеля в реальных условиях позволят установить работоспособность предложенной защитной цепи в составе схемы генератора продольных волн и наметить пути дальнейшего усовершенствования прибора.

Библиографический список

1. Менакер, К. В. Разработка устройства бесконтактной идентификации жил нагруженного кабеля / К. В. Менакер, А. Ю. Данилова, Д. Д. Спирин. – Текст : непосредственный // Образование – наука – производство : материалы VIII всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Чита, 22 ноября 2024 г. – Чита : ИрГУПС, 2024. – С. 314–320. – EDN ABMKCV.
2. Менакер, К. В. Прибор для прозвонки жил сигнальных кабелей электровозов на основе однопроводной передачи контрольного сигнала / К. В. Менакер. – Текст : непосредственный // Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава (ТОиР) : труды II всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Красноярск, 27–29 марта 2025 г. – Красноярск : Дорожный центр внедрения Красноярской железной дороги, 2025. – С. 243–246. – EDN RKTLQG.

Д. М. Муратов, Д. А. Малугин, Ю. В. Могильников
Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ В ОБНАРУЖЕНИИ ДЕФЕКТОВ В РЕЛЬСАХ

В статье проанализирован зарубежный опыт обнаружения дефектов в рельсах. Обобщён опыт Китая, европейских стран и Северной Америки. Рассматриваются современные технологии, такие как системы с искусственным интеллектом и непрерывным оптоволоконным мониторингом в Китае, а также усовершенствованные ультразвуковые и лазерные методы диагностики в Европе и США. На основе проведённого анализа делается вывод о том, что для условий Российской Федерации наиболее реалистичным и экономически целесообразным является путь поэтапной модернизации и адаптации существующих технологий по европейскому образцу, а не масштабное внедрение дорогостоящих новых систем «с нуля».

Ключевые слов: дефектоскопия рельсов, зарубежный опыт, железнодорожный транспорт, контроль состояния пути, искусственный интеллект, оптоволоконные датчики, ультразвуковой контроль.

На территории России применяется несколько способов обнаружения дефектов в рельсах. К ним относятся такие как, съёмные дефектоскопы и различные мобильные вагоны-лаборатории. Но даже несмотря на все эти способы проверки рельсов на наличие дефектов, на железной дороге за период с 2019 по 2024 гг. произошло 989 изломов и допущено 60 пропусков дефектов. Каждый пропущенный дефект или необнаруженный может привести к сходу подвижного состава с рельсов, так за период с 2019 по 2024 гг. из-за пропущенных дефектов произошло 15 сходов и 3 крушения [1, 8, 9]. Для того чтобы в будущем подобное не повторялось, создаются новые технологии, которые помогают с высокой точностью находить место разрушения рельсов. Рассматривается новый способ получения информации о состоянии рельсового полотна. Раньше, для того чтобы получить данные о состоянии рельсов, нужно было намагничивать рельсы магнитами, установленными на дефектоскопах. Предлагается анализировать магнитное поле, создаваемое обратным тяговым током, который протекает по рельсовой линии [13]. Проанализируем зарубежный опыт контроля дефектов в рельсах. Изучив информацию об опыте обнаружения дефектов в рельсах, мы разделили

его на две большие группы: европейско-американская и азиатская. В данной статье мы сделаем упор на азиатский опыт обнаружения дефектов в рельсах, в частности на китайский, но также будет рассмотрен опыт европейских стран и США.

Перед изучением зарубежного опыта в поисках дефектов в рельсах надо узнать применяемые средства контроля. Всё многообразие способов контроля рельсов мобильными и съёмными средствами, дефектоскопами, можно разделить на 4 группы [2] (см. Таблицу).

Таблица

Способы контроля рельсов средствами дефектоскопии

Средства дефектоскопии			
Съёмные дефектоскопы, одноритные тележки	Мобильные (вагоны, автомотрисы, автомобили-дефектоскопы)		
	С остановкой для проверки	Безостановочный контроль	Тандем (два средства последовательно)
I	II	III	IV
Особенности технологии			
Оператор перемещает тележку, время от времени останавливаясь для изучения и подтверждения показаний дефектоскопа	При показании дефектоскопа мобильное средство останавливается, оператор выходит на путь и уточняет дефектное место с помощью портативного дефектоскопа	Движение с заданной скоростью с регистрацией сигналов и фиксацией дефектных мест (с краскоотметкой дефектного рельса и с последующим анализом	Первая автомотриса движется без остановки, вторая останавливается для проверки подозрительных показаний первой, а затем догоняет ее

Как понятно из таблицы, на территории Российской Федерации используется только I и III средства дефектоскопии. Также на железных дорогах России используют контрольный режим рельсовой цепи, который позволяет выявлять излом или изъятия рельса. Но этот способ достаточно дорогой и трудоёмкий в обслуживании, также он может обнаружить излом только на свободном участке пути [3], а чаще всего излом рельсов происходит под движущимся составом. Поэтому в зарубежных странах от него отказались и нашли новые способы обнаружения дефектов в рельсах.

Мы начали рассмотрение зарубежного опыта с железных дорог Китайской Народной Республики. Из-за того, что эта страна пошла в сторону развития высокоскоростной железной дороги и искусственного ин-

теллекта, все данные, которые снимаются средствами дефектоскопии, передаются в централизованный центр сбора и обработки данных [4]. В центре сбора и обработки данных искусственный интеллект обрабатывает полученную информацию и по этим данным выдает место излома или дефекта рельса. Так же, из-за того, что ИИ учится по полученным данным, позволяет предугадывать расположение следующего места дефекта рельсового полотна, эта система позволяет не только фиксировать повреждения рельсов, но и прогнозировать их, что значительно повышает вероятность обнаружения дефектов в рельсах. Если попробовать применить данный опыт на территории России, то можно будет отказаться от контрольного режима в рельсовых цепях, что значительно уменьшает расход бюджета на их установку и обслуживание в будущем. Но в данный момент применение данной технологии затруднительно, т. к. недостаточно распространены технологии искусственного интеллекта и отсутствует единая цифровая платформа для сбора данных со всей сети. Также не на всех удалённых участках получится своевременно передать или получить информацию об изломе.

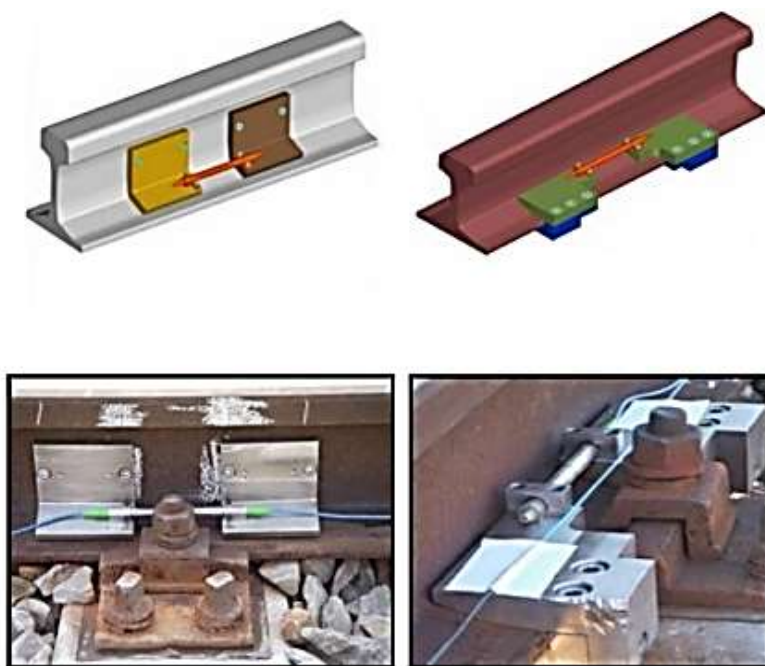


Рис. 3. Расположение оптоволоконного датчика на рельсовом полотне

Так же на территории Китая начинает свое активное развитие технология системы мониторинга в реальном времени на основе волоконно-оптических датчиков. Данная технология представляет из себя оптоволоконный кабель, проложенный вдоль рельсового полотна. Она рабо-

тает как сплошной микрофон и датчик вибрации. При любом воздействии на пути (проход поезда, удар, деформация, излом) создается акустическая волна, которую фиксирует система и передает данные в единый центр обработки данных, который был рассмотрен нами выше. Также система позволяет обнаруживать дефекты не периодически, а непрерывно, в режиме реального времени [5].

Но как бы ни была хороша данная технология, у нее есть и свои недостатки. Нами были выявлены следующие минусы данной системы. Из-за дороговизны оптоволокну его повсеместное расположение на всех рельсовых путях будет стоить слишком дорого. Так же оптоволокну слишком хрупкое, из-за маленького изгиба или скола оптоволокну начинает выдавать ложные данные или не выдавать их вообще. Но главный минус в том, что оптоволокну слишком чувствительно и постоянно посылает информацию в центр обработки данных, что ее значительно перегружает.

Данная технология тоже могла бы заменить рельсовую цепь в контрольном режиме на железных дорогах России. Но учитывая большую протяжённость железных дорог в нашей стране, потребуются большие финансовые затраты на производство (покупку) оптоволокну и его установку на железнодорожные пути. Даже если предположить, что мы установим оптоволокну по всей территории, то у нас нет технологий, которые позволяли бы собирать и обрабатывать такое количество информации. И не нужно забывать о том, что на территории России климат неравномерный, из-за этого оптоволокну будет часто выходить из строя [12].

После анализа китайского опыта в обнаружении дефекта в рельсах мы решили проанализировать и европейский опыт. Для этого мы рассмотрели несколько технологий от европейских стран. К такой технологии относят ультразвуковую систему «RailCheck», которая набирает свою популярность в Германии и Австрии. «RailCheck» представляет собой оборудование, которое устанавливается на мобильные средства дефектоскопии для выявления дефектов на высокоскоростной дороге. Основное преимущество данной технологии состоит в том, что она позволяет выявлять повреждения рельсового полотна с высокой точностью, при этом практически не меняя скорость движения подвижного состава на железной дороге до 80 км/ч [6]. На территории Европы каждая страна вырабатывает свою систему дефектоскопии, например на железной дороге Франции активно используют технологию лазерной системы «RailScan». В отличие от системы «RailCheck», которая использует ультразвук для анализа, данная система использует набор лазерных головок, которые могут с поразительной точностью определять поверх-

ностные дефекты рельсов [7]. Также система «RailScan» может фиксировать дефект размера от 0,1 мм, и при прохождении дефектоскопа по путям создается 3D-модель рельса для анализа его геометрии.

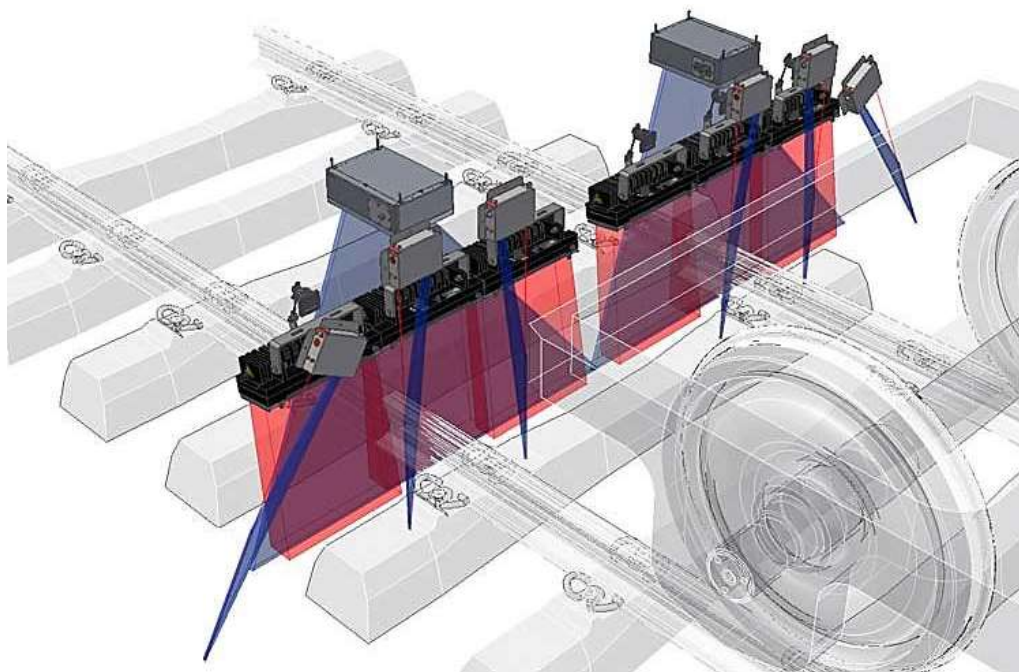


Рис. 4. Датчики ультразвуковой системы «RailCheck»

Проанализировав европейский опыт, мы можем сделать следующий вывод. Европейские страны не разрабатывают новые технологии дефектоскопии, а занимаются улучшением уже имеющихся или полностью отказываются от уже устаревших в пользу новых, делая их более точными, скоростными и интегрированными в общую систему управления движения поездов. Этот подход к улучшению технологии идет совсем в другую сторону от китайского подхода, который можно описать как создание новой технологии «с нуля». На данный момент Россия идет именно по европейскому пути развития, т. к. при улучшении уже имеющегося оборудования не требуются колоссальные капиталовложения средств государства, также не нужно изменять уже сложившейся технологии.

Теперь, зная, какие способы дефектоскопии используют в Китае и Европе, можно рассмотреть опыт и Америки. В Канаде и США начинает набирать популярность новая бесконтактная система для контроля рельсовых линий под названием «Лазерная ультразвуковая система» («LUS») [14]. Данная система является улучшенной версией технологий «RailCheck» и «RailScan». Она объединила в себе все плюсы ранее

названных систем и улучшила их. Система «LUS» использует лазер для генерации ультразвуковых волн в рельсе без физического контакта, что позволяет проводить высокоточную диагностику на повышенных скоростях. Этот подход демонстрирует тенденцию к созданию гибридных решений для максимальной эффективности.

Заключение

В данной статье нами были рассмотрен зарубежный опыт в обнаружении дефектов в рельсах и были сделаны следующие заключения. Китайский подход представляет собой создание новых технологий «с нуля» с внедрением в них ИИ и непрерывного мониторинга, что требует значительных инвестиций в инфраструктуру. В свою очередь, европейско-американский подход предполагает поэтапную модернизацию и интеграцию существующих технологий с акцентом на стандартизацию и практическую эффективность. Для нашей страны наиболее реалистичным и экономически целесообразным представляется адаптация европейской модели развития.

Библиографический список

1. Могильников, Ю. В. Статистика изломов на сети железных дорог России и новый подход к обнаружению дефектов в рельсах / Ю. В. Могильников. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2025. – № 2 (85). – С. 108–111.
2. Марков, А. А. Зарубежные системы контроля / А. А. Марков. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 9. – С. 29–32.
3. Бушуев, С. В. Оценка экономической эффективности средств контроля свободности участков пути / С. В. Бушуев, А. Н. Попов, М. Л. Попова. – Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 202–220.
4. Wang, M., Li, K., Zhu, X., Zhao, Y. Detection of Surface Defects on Railway Tracks Based on Deep Learning // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2022. – Vol. 18, no. 9. – P. 6031–6040. – Текст : непосредственный.
5. Liu, W., Wang, B., Chen, X., Li, L. Subgrade cracking monitoring using distributed optical fiber sensing technique // The 10th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRRA 2017). – June 2017. – P. 405–412. – Текст : непосредственный.
6. Hodge, V. J., O'Keefe, S., Weeks, M., Moulds, A. Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in the Railway Industry: A Survey //

IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2015. – Vol. 16, no. 3. – P. 1088–1106. – Текст : непосредственный

7. Wang, Y., Miao, B., Zhang, Y., Huang, Z., Xu, S. Review on Rail Damage Detection Technologies for High-Speed Trains // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13, no. 18. – Art. 10449. – Текст : непосредственный.

8. Попова, М. Л. Анализ влияния эксплуатационных параметров на образование дефектов и изломов с целью внедрения альтернативных систем контроля свободности участков пути / М. Л. Попова, С. В. Бушуев, А. Н. Попов. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 6 (84). – С. 34–46.

9. Попова, М. Л. Оценка вероятностей возникновения изломов и их выявления рельсовыми цепями / М. Л. Попова, А. Н. Попов, С. В. Бушуев. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2021. – № 3 (70). – С. 8–14.

10. Могильников, Ю. В. Развитие средств обнаружения дефектов в рельсах / Ю. В. Могильников, С. Р. Рогожина. – Текст : непосредственный // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики : материалы IV международной научно-методической конференции. – Самара – Оренбург, 2024. – С. 54–58.

11. Могильников, Ю. В. Оценка эффективности рельсовых цепей и средств дефектоскопии при выявлении изломов и дефектов рельсов / Ю. В. Могильников. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2019. – № 3 (62). – С. 64–67.

12. Могильников, Ю. В. Особенности проектирования систем ЖАТ при строительстве северного широтного хода / Ю. В. Могильников, Л. Ю. Бездетнов, М. С. Левкин. – Текст : непосредственный // Проблемы безопасности и эффективности технических систем : сборник докладов конференции с международным участием, посвящённой 95-летию со дня рождения А. В. Плакса. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 27–28.

13. Пат. 2834398 Российская Федерация: МПК В61К 9/10. Способ обнаружения изломов и дефектов в рельсах / Ю. В. Могильников ; заявитель и патентообладатель УрГУПС. № 2024117483 ; заявл. 24.06.2024 ; опубл. 07.02.2025. – 10 с. – Текст : непосредственный.

14. Mogilnikov, Yu. V., Dubrov, I. A., Paragin, A. V. Investigation of the change in the magnetic field around the rails when defects appear in them // International Scientific and Practical Conference «Railway Transport and Technologies» (RTT-2021). – 2023. – Vol. 2624. – P. 020027. – Текст : непосредственный.

В. А. Надежкин, С. А. Надежкина

*Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

НЕОБХОДИМОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОТКАЗОВ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

В работе представлен анализ статистики возникновения нештатных обстоятельств, приводящих к отказам в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики и, соответственно, ухудшению качества перевозочного процесса. Для снижения уровня возникновения нештатных ситуаций во время функционирования компонент железнодорожной автоматики и телемеханики и недопущению выхода из строя эксплуатационного оборудования авторами предлагается сформировать комплексную модель, позволяющую повысить точность локализации отказов за счёт их своевременного обнаружения при непрерывной автоматизированной диагностике.

Ключевые слова: динамические параметры, точность позиционирования, рельсовая линия, диагностика, мониторинг, локализация отказов, непрерывный контроль, содержательные данные, диагностическая информация.

Современные и актуальные требования, предъявляемые к устройствам железнодорожной автоматики и телемеханики, которые, в свою очередь, должны обеспечивать высокую эффективность организаций работы перевозочного процесса, обуславливают необходимость формирования способов непрерывного контроля компонент железнодорожной инфраструктуры, а также разработки методов своевременного устранения возникших неисправностей.

Фундаментальные недостатки, которые возникают вследствие существующей технологии обслуживания устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, включающей в себя периодический ручной контроль текущего состояния аппаратуры, и, соответственно, дискретность получения данных о её состоянии, прямая зависимость от человеческого фактора. В условиях постоянной цифровизации, возрастающей интенсивности движения поездов, такие недостатки становятся недопустимыми [1].

Согласно представленной диаграмме отказов за 2024 г. на участке одной из железных дорог (рис. 1), основная часть дефектов в работе аппаратуры железнодорожной инфраструктуры связана с рельсовыми ли-

ниями, которая, в свою очередь, включает в себя важные компоненты, среди которых – токопроводящие рельсовые стыки и изолирующие стыки. Так, одной из наиболее сложных и актуальных задач является необходимость точной локализации места появления отказа, такого как излом рельса или нарушение целостности токопроводящего стыка, и, соответственно, своевременное принятие мер по устранению появившегося дефекта вследствие влияния большого количества возмущающих воздействий [2].

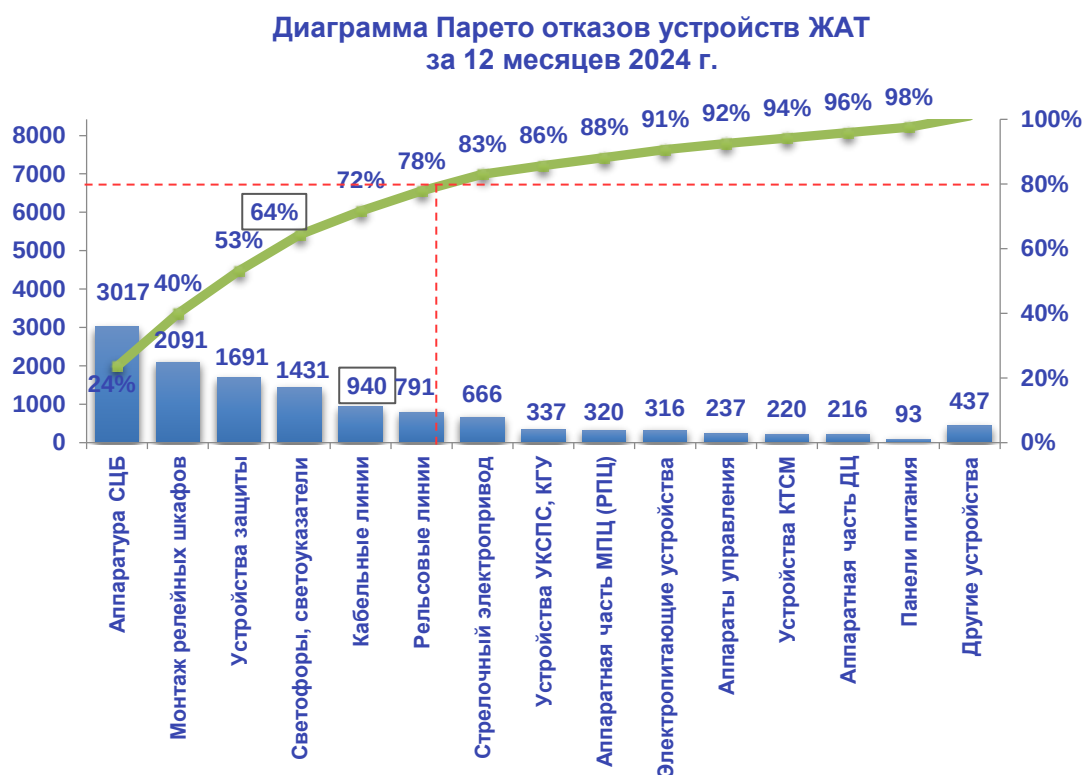


Рис. 1. Отказы устройств железнодорожной инфраструктуры за 2024 г.

Цель исследования заключается в обосновании необходимости и формировании научно-технического подхода к возможности повышения точности локализации отказов в аппаратуре железнодорожной автоматики и телемеханики на основе анализа их динамических параметров при непрерывном мониторинге и диагностике [3].

На основе анализа статистики отказов за 2014–2021 гг., рассматривая высокий показатель возникновения дефектов в рельсовой линии более предметно, выделяя такой компонент, как токопроводящих стык, становится очевидным, что до 30 % нарушений связано именно с нарушением работы этих стыков.



Рис. 2. Анализ статистики отказов устройств железнодорожной инфраструктуры за 2014–2021 гг.

Главная проблема заключается в том, что рельсовая линия представляет собой систему с распределенными параметрами, при этом ее состояние описывается комплексом влияющих дестабилизирующих воздействий и изменяющихся эксплуатационных факторов [4, 5]. Существующие системы не способны с высокой точностью устранять влияние возмущающих воздействий и заблаговременно предотвращать отказ [6]. Поэтому важно сформировать подход по повышению точности локализации места возникновения дефекта, который будет учитывать динамические параметры рельсовой линии, а именно, выражения для токов и напряжений в начале и в конце рельсовой линии представляются следующим образом:

$$\begin{cases} \vec{I}_1 = y_{11}S_1A_1 + y_{11}C_1A_2 + y_{12}S_2A_3 + y_{12}C_2A_4; \\ \vec{I}_2 = y_{21}S_1A_1 + y_{21}C_1A_2 + y_{22}S_2A_3 + y_{22}C_2A_4; \\ \vec{U}_1 = C_1A_1 + S_1A_2 + C_2A_3 + S_2A_4; \\ \vec{U}_2 = h_1C_1A_1 + h_1S_1A_2 + h_2C_2A_3 + h_2S_2A_4; \end{cases} \quad (1.1)$$

где $S_1 = \text{sh } \gamma_1 l$; $C_1 = \text{ch } \gamma_1 l$; $S_2 = \text{sh } \gamma_2 l$; $C_2 = \text{ch } \gamma_2 l$.

l – длина рельсовой линии.

Также важно учитывать матрицу А-параметров четырехполюсника (1.2), множества информативных признаков $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, где X_i – образ состояний рельсовой линии в i -й момент времени, а $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – информативные признаки, а также первичных параметров r_o, L_o, g_o, C_o .

$$A = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \operatorname{ch} \gamma l & Z_B \operatorname{sh} \gamma l \\ \operatorname{sh} \gamma l / Z_B & \operatorname{ch} \gamma l \end{bmatrix}. \quad (1.2)$$

В роли динамических параметров рельсовой линии для позиционирования неисправного токопроводящего стыка также используются следующие динамические параметры, которые представляют собой первичные и вторичные параметры рельсовой цепи [7]:

$$\begin{cases} Z_0 = r_0 + j\omega L_0 = Z_0 e^{j\varphi Z_0}; \\ Y_0 = g_0 + j\omega C_0 = Y_0 e^{j\varphi Y_0}; \\ Z = r + j\omega L = Z e^{j\varphi Z}; \\ Y = g + j\omega C = Y e^{j\varphi Y}. \end{cases} \quad (1.3)$$

Пример имитационной модели:

```
# Для проверки конкретных стыков
analyze_rail_line_diagnostics([10, 25, 60, 90])

# Для случайной генерации неисправностей
import random
random_faults = random.sample(range(1, 101), 5) # 5 случайных неисправностей
analyze_rail_line_diagnostics(random_faults)
```

Таким образом, ключевым результатом исследования является возможность достижения точности локализации места отказа в пределах 5–8 метров за счет учета динамических параметров рельсовой линии, учета дестабилизирующих факторов, влияющих на компоненты железнодорожной инфраструктуры.

Библиографический список

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 г. (основные положения). – URL : <http://www.rzd.ru>. – Текст : электронный.
2. Сарычева, С. А. Особенности системы интервального регулирования на базе автоблокировки с тональными рельсовыми цепями / С. А. Сарычева, В. А. Надежкин. – Текст : непосредственный // Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий :

сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Казань, 21–24 сентября 2022 г. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2022. – С. 233–236.

3. Тарасов, Е. М. К вопросу автоматизации технической диагностики и мониторинга / Е. М. Тарасов, А. Е. Тарасова, В. А. Надежкин. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. – 2022. – № 1. – С. 362–364.

4. Тарасов, Е. М. Исследование информативности признаков при распознавании состояний рельсовых линий / Е. М. Тарасов, В. Л. Герус, А. Е. Тарасова. – Текст : непосредственный // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 2. – С. 191–206.

5. Дмитренко, И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко. – Москва : Транспорт, 1986. – 144 с. – Текст : непосредственный.

6. Надежкина, С. А. Функциональная диагностика отказов токопроводящих стыков / С. А. Надежкина. – Текст : непосредственный // Образование, наука и инновации: современные вызовы : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных : в 2 ч., Мелитополь, 12–13 декабря 2024 г. – Мелитополь : Мелитопольский государственный университет, 2025. – С. 271–274.

7. Тарасов, Е. М. Построение информационного датчика бесконечно малого участка рельсовой линии / Е. М. Тарасов, М. В. Трошина, А. И. Якобчук. – Текст : непосредственный // Математическое моделирование, численные методы и информационные технологии : сборник статей межвузовской научно-практической конференции. – Самара : СМПУ, 2009. – С. 116–121.

В. Л. Незевак

*Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),
г. Омск, Россия*

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Концепция применения систем накопления электроэнергии на железнодорожном транспорте опирается на складывающиеся тенденции в области развития технологий хранения и преобразования энергии и мировой опыт по использованию устройств накопления электроэнергии в различных отраслях экономики. Основными направлениями приме-

нения систем накопления электроэнергии на железнодорожном транспорте выступают повышение эффективности эксплуатации тягового и нетягового электроснабжения, тягового подвижного состава и уровня энергетической эффективности перевозочного процесса. К специальным задачам относятся: повышение качества электроэнергии и надёжности электроснабжения, устойчивая работа электромобилей и беспилотных летательных аппаратов и ряд других. В статье рассмотрены основные направления реализации концепции применения систем накопления электроэнергии на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: энергетический комплекс, тяговый подвижной состав, системы тягового электроснабжения, надёжность электроснабжения, качество электроэнергии, энергоэффективность, системы накопления электроэнергии, риски реализации.

Развитие энергетического комплекса и тягового подвижного состава железнодорожного транспорта осуществляется в условиях роста объёмов перевозок, связанных с увеличением масс составов и скоростей движения поездов. Необходимость обеспечения роста пропускной и провозной способности железных дорог обуславливает постоянное увеличение установленной мощности тяговых подстанций, сечения проводов и тросов контактной сети, линейных устройств, мощности локомотивов и т. д. Наряду с ростом установленной мощности в энергетическом комплексе применяются мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач, в частности контактной сети, сооружению линейных устройств и ряд других. Необходимо отметить, что существенный прирост пропускной и провозной способности по устройствам тягового электроснабжения обеспечивается сменой систем тягового электроснабжения и переходе от системы постоянного тока к переменному 25 кВ, далее к системе 2×25 кВ и т. д., а при увеличении масс составов может быть обеспечен кратной тягой или ростом единичной мощности тягового подвижного состава.

В каждой из существующих и предлагаемых систем тягового электроснабжения существуют задачи, связанные с обеспечением стабилизации напряжения, выравнивания графика тяговой нагрузки, повышением качества электроэнергии и энергоэффективности, надёжности и др. Современные технологии хранения энергии позволяют решать эти и другие задачи как для систем тягового электроснабжения и тягового подвижного состава (ТПС), так и для нетяговых потребителей электрической энергии [1–4]. В данном контексте указанные задачи относятся к актуальным и для их решения с помощью систем накопления электро-

энергии (СНЭЭ) необходимо определить основные направления их применения на железнодорожном транспорте.

СНЭЭ относятся к многофункциональным системам, позволяющим решать различные задачи по повышению эффективности электрической сети в целом или работы отдельного электрооборудования в частности.

В настоящее время под СНЭЭ подразумеваются комплексы электрооборудования, содержащие накопители электроэнергии, преобразователи, устройства, выполняющие регулирование, и другие вспомогательные функции. При решении поставленных задач определяются параметры накопителя энергии, преобразователя и законы регулирования.

В настоящее время накоплен значительный опыт применения СНЭЭ в различных областях энергетики. Мировой опыт показывает прирост как установленной мощности, так и энергоемкости СНЭЭ, применяемых в различных странах мира [5]. Например, динамика изменения кумулятивных значений мощности и энергоемкости СНЭЭ на основе литий-ионных и свинцово-кислотных аккумуляторов различных модификаций до 2021 г. включительно показывает рост суммарной мощности и энергоемкости до 8 ГВт и 12 ГВт·ч соответственно (рис. 5), при этом литий-ионные аккумуляторы занимают доминирующее положение. Аналогичная картина наблюдается и при сопоставлении установленной мощности литий-ионных аккумуляторов с никелевыми или другими химическими источниками тока.

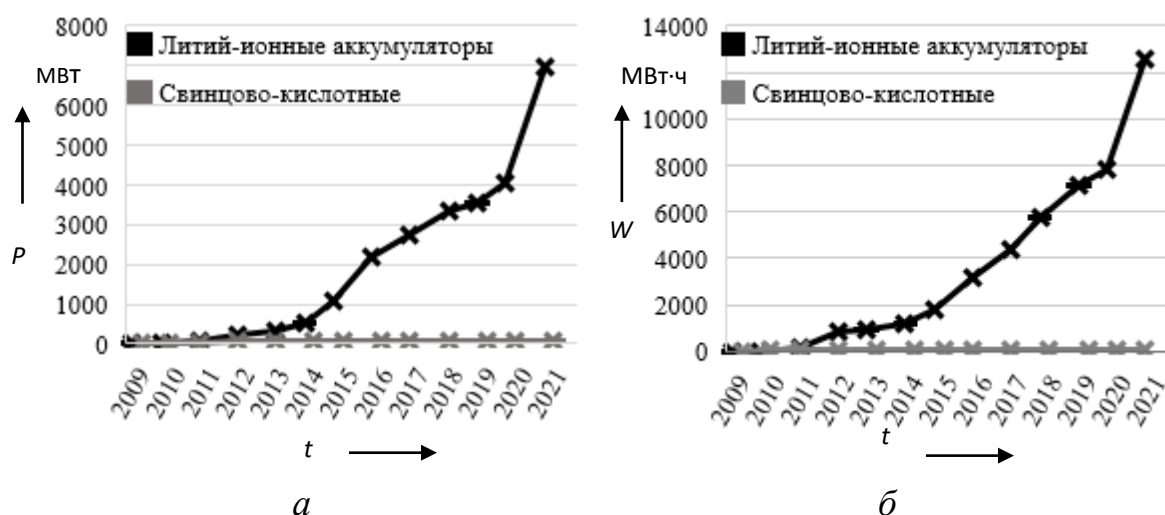


Рис. 5. Динамика изменения установленной мощности (а) и энергоемкости (б) СНЭЭ в мире на базе литий-ионных и свинцово-кислотных аккумуляторов

Иная картина наблюдается в области применения электромеханических накопителей электроэнергии, где также можно отметить динамику

прироста установленной мощности и энергоемкости. На примере двух видов накопителей – на основе сжатого воздуха и кинетических накопителей (маховиков) на рис. 6 приведена динамика изменения указанных выше показателей.

Сравнение накопителей на основе химических источников тока и электромеханических устройств (компрессоров и маховиков) показывает сопоставимые значения установленной мощности и энергоемкости СНЭЭ, что свидетельствует об отсутствии преобладания конкретного вида и специализации устройств по условиям их применения, режимам генерации и потребления электроэнергии.

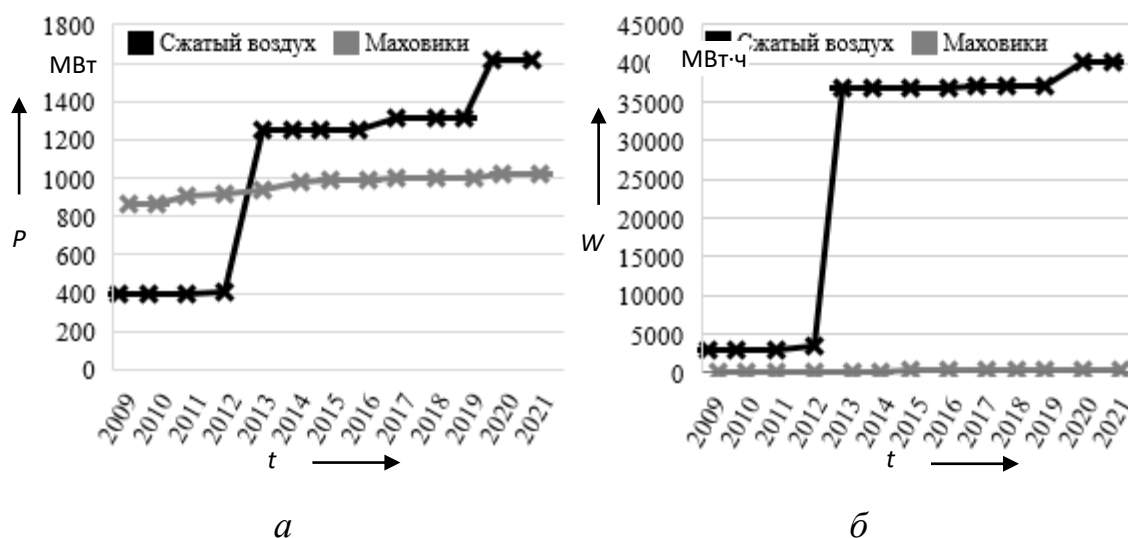


Рис. 6. Динамика изменения установленной мощности (а) и энергоемкости (б) СНЭЭ в мире на накопителей сжатого воздуха и маховиков

К текущему времени суммарная установленная мощность СНЭЭ в мире превысила уровень 500 ГВт, энергоемкость достигла уровня 4 000 ГВт·ч. Необходимо отметить, что при расчете указанных показателей учитываются и накопители энергии на базе гидроаккумулирующих станций, которые обладают характеристиками, существенно превосходящими аналогичные для других видов накопителей.

Опыт реализации проектов с применением СНЭЭ имеется и в России, где насчитывается несколько десятков крупных проектов, реализованных различными компаниями, в том числе ПАО «Россети». Указанные проекты реализованы в Единой энергетической системе России, а отдельные проекты выполнены в изолированных районах страны. Основные направления реализации проектов связаны с резервированием электроснабжения, сглаживанием графика нагрузки, повышением эф-

фективности работы электростанций на базе возобновляемых источников энергии, оптимизации затрат в системах управления спросом, снижение пиковой мощности для зарядных станций электромобилей и др.

Специфика работы железнодорожного транспорта позволяет очертить круг видов накопителей электроэнергии, которые могут найти применение как в стационарной энергетике, так и на борту ТПС, выделив среди химических источников тока литий-ионные аккумуляторы различных модификаций, отдельно – суперконденсаторы, накопители на сжатом воздухе и маховики.

Приоритетные направления применения СНЭЭ связаны с решением задач по повышению пропускной и провозной способности, повышению надежности электроснабжения и уровня энергетической эффективности для стационарной энергетике и тягового подвижного состава, обеспечение экологической безопасности.

В рамках указанных направлений решаются отдельные задачи, некоторые из которых приведены ниже.

Повышение эффективности рекуперативного торможения. Применение СНЭЭ для решения указанной задачи связано с местами размещения на тяговых подстанциях и линейных устройствах системы тягового электроснабжения постоянного и переменного тока, а также на тяговом подвижном составе. Мощность и энергоемкость СНЭЭ для данных приложений находится в примерном диапазоне 1–10 МВт и 0,5–5 МВт·ч соответственно и определяется исходя из мест размещения систем и характеристик тяговой нагрузки, в частности – мощности и продолжительности рекуперативного торможения [6–8].

Гибридный тяговый подвижной состав. Существующие опытные образцы контактно-аккумуляторных электровозов и гибридного тепловозов показывают возможность получения технических эффектов при выполнении маневровой работы. В данном случае при эксплуатации электровозов обеспечивается автономная тяга на неэлектрифицированных путях, тепловозов – снижение уровня вредных выбросов.

Повышение качества электроэнергии в электрических сетях энергетического комплекса на тяговом подвижном составе. Основными проблемами в части обеспечения качества электроэнергии в электрических сетях являются длительные отклонения и провалы напряжения, несимметрия и несинусоидальность напряжений. СНЭЭ могут найти применение для решения задач по повышению качества электроэнергии для ответственных потребителей или в точках общего присоединения. На ТПС применение СНЭЭ позволяет повысить качество с целью устойчивой работы тяговых электродвигателей и сохранения их ресурса.

Резервирование электроснабжения для отдельных групп потребителей. Для отдельных групп потребителей первой категории и других электроприемников, требующих бесперебойного электроснабжения, могут применяться СНЭЭ, обеспечивающие питание электрооборудование в случае перерывов электроснабжения или при выходе показателей качества электроэнергии за допустимые границы.

Повышение надежности систем оперативного постоянного тока. Применяющиеся на тяговых подстанциях свинцово-кислотные аккумуляторы достаточно изучены и хорошо зарекомендовали себя при работе в буферном режиме на тяговых подстанциях. В случае предъявления повышенных требований в части ресурса работы, условий эксплуатации, ограниченности помещений аккумуляторных батарей могут найти применение другие химические источники тока, в частности литий-ионные аккумуляторы.

Повышение пропускной способности линий электропередач. Применение СНЭЭ связано с решением задач для отдельных потребителей, подключенных с помощью линий электропередач большой протяженности и связанных с этими проблемами отклонениями напряжения от нормативных значений.

Применение для решения специальных задач. СНЭЭ могут найти применение в тяговых сетях для решения задач стабилизации напряжения с учетом работы других регулируемых устройств, к которым можно отнести статические генераторы и компенсаторы реактивной мощности. Возможно решение задач, связанных с оптимизацией режимов работы систем электроснабжения с учетом перспективы развития сети зарядных станций для электромобилей и беспилотных летательных аппаратов.

Подключение СНЭЭ к электроустановкам энергетического комплекса и ТПС должно выполняться в соответствии с подлежащими разработке техническими требованиями по их размещению и присоединению.

Применение СНЭЭ в системах тягового электроснабжения рассматривается на тяговых подстанциях и линейных устройствах и предусматривает подключение к контактной сети с помощью высоковольтных преобразователей для решения задач по повышению эффективности рекуперативного торможения, стабилизации напряжения, повышению качества электроэнергии, компенсации реактивной мощности и выравниванию графика электрической нагрузки. Присоединение СНЭЭ к контактной сети или шинам тяговых подстанций должно выполняться с помощью преобразователей, обеспечивающих возможность регулирования ключевых параметров в заданных диапазонах (уровня напряжения и нагрузки, показателей качества электроэнергии, уровня реактивной мощности и др.).

Применение СНЭЭ в качестве резервных источников системы оперативного постоянного тока на основе литий-ионных аккумуляторных батарей следует рассматривать при несоответствии характеристик свинцово-кислотных аккумуляторов уровню нагрузки и режимам работы потребителей.

При решении задач в системах нетягового электроснабжения подключение устройств накопления электроэнергии следует предусматривать к шинам трансформаторных подстанций (до и свыше 1000 В) через высоковольтные или низковольтные преобразователи, позволяющие обеспечить резервирование потребителя в аварийном режиме работы, стабилизировать уровень напряжения, выравнивание графика нагрузки линий электропередач, устойчивое функционирование зарядной инфраструктуры для БПЛА или электромобилей.

В области тягового подвижного состава применение СНЭЭ обеспечивается с помощью высоковольтных тяговых преобразователей, подключаемой к цепям питания тяговых электродвигателей, позволяющих обеспечить повышение эффективности рекуперативного торможения, работы гибридного привода на автономном ТПС, увеличение ресурса ТЭД и других задач, связанных с автономным ходом и резервированием питания ТЭД.

При применении СНЭЭ в тяговом электроснабжении следует учитывать условия пропуска поездов и параметры графика движения, путевое развитие, профиль пути, параметры инфраструктуры и характеристики оборудования, перспективы развития движения на участке и др. В нетяговом электроснабжении необходимо учитывать параметры графика нагрузки потребителей и продолжительность аварийных режимов. При применении СНЭЭ на ТПС учитывают условия эксплуатации, режимы работы и параметры ТЭД.

Таким образом, основные направления применения СНЭЭ на железнодорожном транспорте связаны с повышением пропускной и провозной способности, энергетической эффективности перевозок и снижением вредного воздействия тягового подвижного состава на окружающую среду. Местами размещения СНЭЭ являются стационарные объекты энергетического комплекса и ТПС. Кроме этого, в обоснованных случаях СНЭЭ могут применяться для решения специальных задач в области резервирования электроснабжения, повышения качества электроэнергии или обеспечения устойчивой работы потребителей, в т. ч. зарядных станций электромобилей и станций на базе возобновляемых источников электроэнергии.

Библиографический список

1. Булатов, Ю. Н. Применение накопителей энергии и управляемых установок распределённой генерации для снижения провалов напряжения в сетевом энергетическом кластере / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, В. Х. Нгуен. – Текст : непосредственный // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 2 (38). – С. 38–43. – DOI 10.18324/2077-5415-2018-2-38-43.

2. Котельников, А. В. Распределенная генерация электроэнергии в системе тягового электроснабжения железных дорог на основе ветровых электроустановок / А. В. Котельников, М. В. Шевлюгин, А. А. Жуматова. – Текст : непосредственный // Электротехника. – 2017. – № 9. – С. 40–45.

3. Истомин, С. Г. Подходы к определению основных требований к накопителю электрической энергии для моторвагонного подвижного состава / С. Г. Истомин, А. П. Шатохин. – Текст : непосредственный // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2023. – Т. 1. – С. 63–67.

4. Незевак, В. Л. Концепция применения систем накопления электроэнергии в энергетическом комплексе ОАО «РЖД» / В. Л. Незевак, А. Д. Дмитриев, С. С. Самолинов. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2023. – № 3 (99). – С. 32–37.

5. Глобальная база данных Министерства энергетики по накоплению энергии. Статистика : электрон. версия. – 2025. – URL : <https://gesdb.sandia.gov/statistics.html> (дата обращения: 25.01.2025). – Текст : электронный.

6. Баканова, Е. И. Моделирование режимов работы устройств накопления электроэнергии в системах тягового электроснабжения переменного тока / Е. И. Баканова, В. Л. Незевак, О. А. Сидоров. – Текст : непосредственный // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 517–536.

7. Незевак, В. Л. Моделирование режимов нагрузки на шинах постов секционирования при работе в системе тягового электроснабжения накопителей электроэнергии / В. Л. Незевак. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4 (68). – С. 159–170.

8. Незевак, В. Л. О сравнении энергетических параметров систем накопления электроэнергии для систем тягового электроснабжения постоянного и переменного тока / В. Л. Незевак. – Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2022. – Т. 81, № 1. – С. 38–52.

М. В. Пухляков, М. Р. Токорев

Уральский государственный университет путей и сообщения,
г. Екатеринбург, Россия

УЧЁТ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ В ЦИФРОВОМ ДВОЙНИКЕ УЧАСТКА КОНТАКТНОЙ СЕТИ

В условиях повышения требований к надёжности и безопасности железнодорожной инфраструктуры актуальной задачей становится учёт комплексного влияния внешних факторов на техническое состояние контактной сети. Традиционные методы мониторинга, ориентированные преимущественно на внутренние параметры, не обеспечивают достаточной точности прогнозирования из-за игнорирования климатических, геомеханических и антропогенных воздействий. В работе предложен подход к построению цифрового двойника участка контактной сети с интеграцией ключевых внешних факторов, отобранных на основе принципа Парето. Для количественной оценки влияния каждого фактора применена методика, учитывающая частоту проявления, амплитуду воздействия, вклад в отказы и отражение в нормативной документации. В результате отобраны 10 наиболее значимых факторов, совокупный вклад которых составляет 84,5 % от общего влияния. Предложенный подход позволяет повысить точность прогнозирования состояния контактной сети, оптимизировать графики технического обслуживания и снизить риски аварийных ситуаций при сохранении вычислительной эффективности модели.

Ключевые слова: цифровой двойник, контактная сеть, внешние факторы, ветровая нагрузка, температурное воздействие, вибрации, загрязнение изоляторов, оценка влияния, моделирование.

Повышение устойчивости систем тягового электроснабжения железных дорог к внешним воздействиям представляет одну из ключевых задач современной транспортной инфраструктуры. Особую значимость этот вопрос приобретает в отношении контактной сети – элемента, постоянно находящегося под комплексным влиянием окружающей среды. Многообразие внешних воздействий существенно сказывается на эксплуатационных характеристиках оборудования, определяя его техническое состояние и долговечность [1].

Классификация внешних воздействий

На функционирование контактной сети оказывают влияние следующие группы факторов:

Климатические воздействия:

- Ветровые нагрузки, вызывающие динамические колебания и вибрации проводов
- Температурные колебания, приводящие к изменению длины и натяжения проводов
- Атмосферные осадки (дождь, снег), способствующие коррозии и ухудшению изоляции
- Обледенение оборудования, значительно увеличивающее механические нагрузки
- Повышенная влажность воздуха, снижающая сопротивление изоляторов
- Резкие температурные перепады, создающие термические напряжения в материалах
- Ультрафиолетовое излучение, вызывающее старение полимерных компонентов

Техногенные и антропогенные воздействия:

- Вибрации от подвижного состава и наземного транспорта
- Загрязнение изоляторов промышленными выбросами и пылью
- Электромагнитные помехи от смежного электрооборудования
- Несанкционированные вмешательства и механические повреждения
- Строительные работы в охранной зоне
- Грозовые перенапряжения и атмосферные разряды

Геомеханические воздействия:

- Деформации грунта и осадка оснований опор
- Сейсмическая активность в регионах с повышенной тектонической активностью

Существующие подходы к мониторингу, ориентированные преимущественно на внутренние параметры системы, зачастую не учитывают совокупное влияние внешних условий. Это ограничение снижает достоверность прогнозных оценок и эффективность организации технического обслуживания.

Цифровой двойник как средство интеграции физических и информационных моделей предоставляет возможности для учёта перечисленных воздействий в режиме реального времени. Однако достижение баланса между точностью моделирования и вычислительной эффективностью требует тщательного отбора наиболее значимых факторов. В рамках данного исследования анализируются ключевые внешние воздействия: ветровая нагрузка, температурное влияние, транспортные вибра-

ции и загрязнение изоляторов, с количественной оценкой их влияния на состояние контактной сети [2].

Для количественного анализа факторов применена методика, основанная на четырёх критериях: частота проявления, амплитуда воздействия, вклад в отказы и отражение в нормативной документации. Каждому критерию присвоен весовой коэффициент, а факторам – интегральная оценка влияния по столбальной шкале (табл. 1–5).

Цифровой двойник, как инструмент интеграции физических и информационных моделей, дает возможности для учёта этих воздействий. Однако не все факторы возможно включить в цифровой двойник: какие именно внешние факторы следует включать в модель, чтобы обеспечить баланс между точностью и вычислительной сложностью?

- частоте проявления,
- амплитуде воздействия,
- отказы и износ,
- нормативы.

Таблица 1

Оценка критериев

Критерий	Вес	Обоснование
Частота	30 %	Насколько часто фактор встречается в течение года/сезона
Амплитуда	30 %	Насколько сильно он влияет на параметры КС (нагрузка, износ, риск отказов)
Вклад в отказы	25 %	Доля отказов, с которыми он связан (по статистике РЖД и литературе)
Нормативы	15 %	Учитывается ли фактор в ГОСТ, ИЕС, ПУЭ, РД РЖД

Ветровая нагрузка

Ветровая нагрузка является одним из наиболее значимых климатических факторов, вызывающих динамические колебания и вибрации проводов. Это может приводить к усталостным повреждениям, обрывам проводов и нарушению геометрии подвески. Сильный ветер также способствует увеличению механической нагрузки на опорные конструкции.

Таблица 2

Оценка влияния ветровой нагрузки

Критерий	Оценка	Комментарий
Частота	95	Ветер наблюдается практически ежедневно; сильный ветер – 20–50 дней в году

Окончание табл. 2

Критерий	Оценка	Комментарий
Амплитуда	100	Вызывает значительные колебания, вибрации и риски обрывов проводов
Вклад в отказы	90	До 30–40 % механических повреждений связаны с ветровой нагрузкой
Нормативы	100	Учтён в ГОСТ Р 55804-2018 и других нормативных документах

Расчёт: $0,3 \times 95 + 0,3 \times 100 + 0,25 \times 90 + 0,15 \times 100 = 95$.

Температурное воздействие

Температура воздуха и её резкие перепады оказывают значительное влияние на длину и натяжение проводов due to теплового расширения. Это может приводить к изменению геометрии подвески, нарушению то-косяёма и возникновению термических напряжений в материалах.

Таблица 3

Оценка влияния температурного воздействия

Критерий	Оценка	Комментарий
Частота	85	Ежедневное воздействие; резкие перепады характерны для межсезонья
Амплитуда	90	Вызывает изменения натяжения проводов и геометрии подвески
Вклад в отказы	80	До 25 % отказов связаны с температурными деформациями
Нормативы	85	Учтён в ГОСТ Р 59965-2021 и ПУЭ

Расчёт: $0,3 \times 85 + 0,3 \times 90 + 0,25 \times 80 + 0,15 \times 85 = 85$.

Вибрации от транспорта

Вибрации, вызванные движением подвижного состава и наземного транспорта, приводят к усталостному износу элементов контактной сети. Это особенно актуально в зонах интенсивного движения и вблизи автомобильных дорог.

Таблица 4

Оценка влияния вибраций от транспорта

Критерий	Оценка	Комментарий
Частота	70	Постоянное воздействие в зонах интенсивного движения

Окончание табл. 4

Критерий	Оценка	Комментарий
Амплитуда	65	Вызывает усталостный износ креплений и проводов
Вклад в отказы	60	До 15 % отказов связаны с вибрационными нагрузками
Нормативы	50	Частично учтён в ведомственных нормах РЖД

Расчёт: $0,3 \times 70 + 0,3 \times 65 + 0,25 \times 60 + 0,15 \times 50 = 63$.

Загрязнение изоляторов

Загрязнение изоляторов пылью, сажей, солями и другими веществами снижает их изоляционные свойства, что может приводить к пробоям и коротким замыканиям, особенно в условиях повышенной влажности.

Таблица 5

Оценка влияния загрязнения изоляторов

Критерий	Оценка	Комментарий
Частота	65	Постоянное воздействие, усиливающееся в промышленных и приморских зонах
Амплитуда	70	Значительно снижает сопротивление изоляции, повышая риск пробоев
Вклад в отказы	75	До 20 % электрических отказов связаны с загрязнением изоляторов
Нормативы	70	Учтён в ГОСТ Р 52726-2007 и ПУЭ

Расчёт: $0,3 \times 65 + 0,3 \times 70 + 0,25 \times 75 + 0,15 \times 70 = 69$.

На представленной диаграмме Парето (см. Рисунок). Парето позволяет сделать следующие выводы.

Неравномерное распределение влияния внешних факторов. Наибольшее воздействие на контактную сеть оказывают ветровая нагрузка, температура воздуха и гололёд. Только эти три фактора в совокупности обеспечивают более 32 % общего влияния. Это подтверждает гипотезу о том, что небольшая группа факторов определяет основную долю рисков.

Порог 80 % достигается на 10-м факторе. Согласно принципу Парето, первые 10 вносят 84,5 % в общее влияние на состояние контактной сети. Это означает, что при построении цифрового двойника можно ограничиться именно этим набором, не теряя значимой точности модели, но существенно снижая её сложность [3].

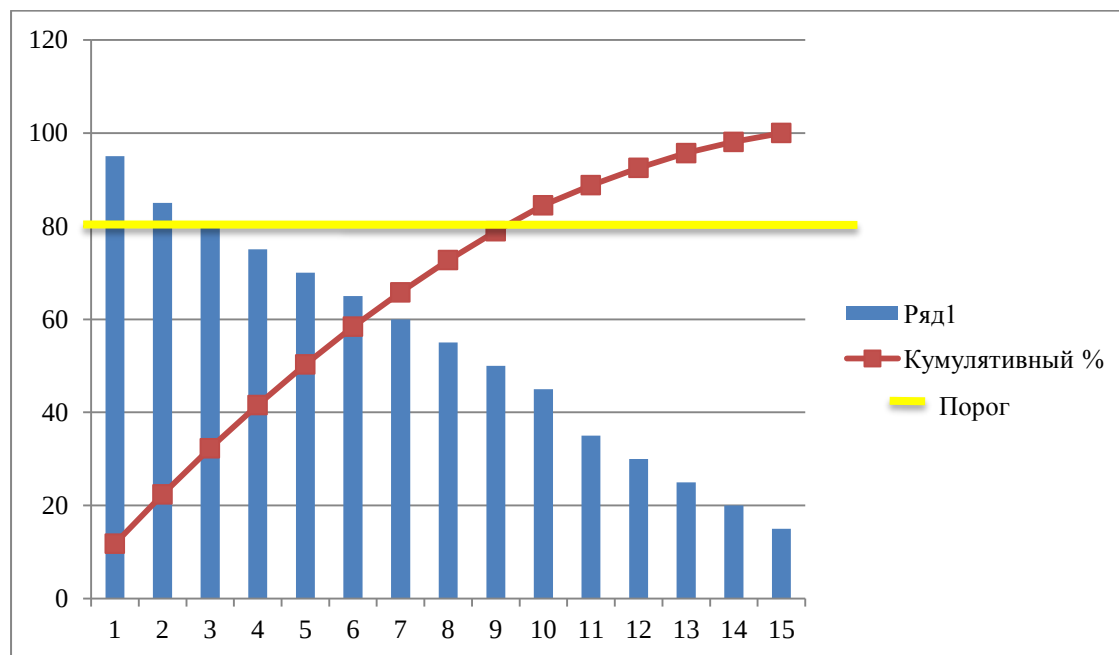


Рисунок. Диаграмма Парето выбора внешних факторов

На основе проведённого отбора ключевых внешних факторов разработан алгоритм построения цифрового двойника участка контактной сети, обеспечивающий их системную интеграцию на всех этапах жизненного цикла модели.

Предложенный подход позволяет не только учитывать внешние воздействия, но и оценивать их вклад в изменение состояния контактной сети, формировать прогнозы остаточного ресурса и выдавать рекомендации по техническому обслуживанию.

Интеграция в цифровой двойник

Представленные факторы должны быть интегрированы в цифровой двойник участка контактной сети в качестве входных параметров, влияющих на физические и статистические подмодели. Это позволит не только учитывать текущие воздействия, но и прогнозировать изменения состояния сети, оптимизировать графики технического обслуживания и снижать риски аварийных ситуаций.

Библиографический список

1. Марквардт, К. Г. Контактная сеть : учебник для вузов железнодорожного транспорта / К. Г. Марквардт. – Издание 4-е, переработанное и дополненное. – Москва : Транспорт. – 1994. – 335 с. – Текст : непосредственный.

2. Прохоров, А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев ; научный редактор профессор А. Боровков. – Издание 1-е, исправленное и дополненное. – Москва : ООО «Аль-янсПринт», 2020. – 401 с., ил. – Текст : непосредственный.

3. Ногин, В. Д. Множество и принцип Парето : учебное пособие / В. Д. Ногин. – Издание 2-е, исправленное и дополненное. – Санкт-Петербург : Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022. – 110 с. – Текст : непосредственный.

П. С. Сиделев

*Управление автоматике и телемеханики
Центральной дирекции инфраструктуры – филиал ОАО «РЖД»*

Е. Ю. Минаков

*Российский университет транспорта (МИИТ),
г. Москва, Россия*

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Развитие железнодорожного транспорта не может проходить без инновационного развития и обновления устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) и инфраструктуры в целом. А инновации в области ЖАТ не могут иметь перспективы, если в основе создания новых, модернизации и обновления действующих средств и систем ЖАТ не будут стоять фундаментальные результаты исследований и достижений научных передовых инженерных школ. В первую очередь должны иметь место качественно новые устройства и системы управления транспортной инфраструктурой, отвечающих требованиям современности. Такую задачу необходимо выполнить при реализации проекта «Разработка конструкции и технологий содержания железнодорожного пути, обеспечивающих наработку 2,5 млрд т брутто пропущенного тоннажа».

Ключевые слова: стрелочный перевод, остряк, ПСК, электропривод, надёжность, безопасность, повышенный ресурс.

Одна из актуальных задач, которую время ставит перед производителями стрелочных переводов, – обеспечение наработку пропущенного

тоннажа 2,5 млрд т брутто при увеличении надёжности и безусловном обеспечении безопасности движения поездов.

Следует изначально сказать, что разработка и постройка на производство ведутся в рамках реализации проекта «Разработка конструкции и технологий содержания железнодорожного пути, обеспечивающих наработку 2,5 млрд т брутто пропущенного тоннажа» в соответствии с Техническими требованиями к конструкции железнодорожного пути и системы его технического обслуживания, обеспечивающих наработку пропущенного тоннажа 2,5 млрд т брутто, утвержденными распоряжением ОАО «РЖД» от 13 апреля 2023 г. № 931/р [5].

Актуальность поставленной задачи объясняется востребованностью на таких грузонапряжённых линиях как на Транссибе, БАМе, Восточном и Северном железнодорожных транспортных полигонах. Решать эту задачу приходится основным производителям этой продукции АО «Муромский стрелочный завод» и АО «Новосибирский стрелочный завод» в тесном содружестве с передовыми научными школами РУТ (МИИТ), ОА «ВНИИЖТ», ГТСС. Следует сказать, что в решении такой сложной задачи необходимо подходить комплексно, так как стрелочный перевод – это сложный инфраструктурный объект, в котором тесно переплелись структурные аспекты построения рельсовой нити, методов скрепления рамных рельсов, подрельсового основания, методов установки электроприводов, особенности стрелочной гарнитуры. Всё это должно строиться и работать как единый слаженный Комплекс, отвечающий не только за пропуск поездов, увеличение ресурса, надёжность работы всех его элементов, но прежде всего – за обеспечение безопасности движения подвижного состава по стрелочному переводу. Учитывая важность проекта, перспективу по его реализации, в целях своевременного исключения возможного получения рисков появления опасного состояния, ещё на этапе разработки и изготовления опытных образцов, работа ведётся под постоянным контролем Управления автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД».

В данной статье авторы намерены познакомить читателя с новыми разработками и обсудить некоторые аспекты построения стрелочных переводов с повышенным ресурсом на примере варианта стрелочного перевода, представленного на рис. 1.

Проводя анализ конструкции, следует отметить, прежде всего, что решение по установке контрольных и рабочих тяг в полый металлический брус, а также отказ от традиционных фундаментных угольников, позволяет решать одну из главных проблем – проведение сплошной механизированной подбивки стрелочного перевода [3]. Ранее, как мини-

мум, три стрелочных бруса, установленных в начале стрелочного перевода, путевыми рехтовочно-подбивочными машинами не производилась, работа выполнялась вручную. А потому в процессе эксплуатации появлялись просадки пути в этом, в одном из самых динамически напряжённом месте стрелочного перевода, что вело к снижению скорости прохождения подвижного состава по стрелке, даже в прямом направлении, приводило к повышенному износу верхнего строения пути, дополнительным эксплуатационным затратам и значительному снижению эксплуатационного ресурса стрелочного перевода в целом.

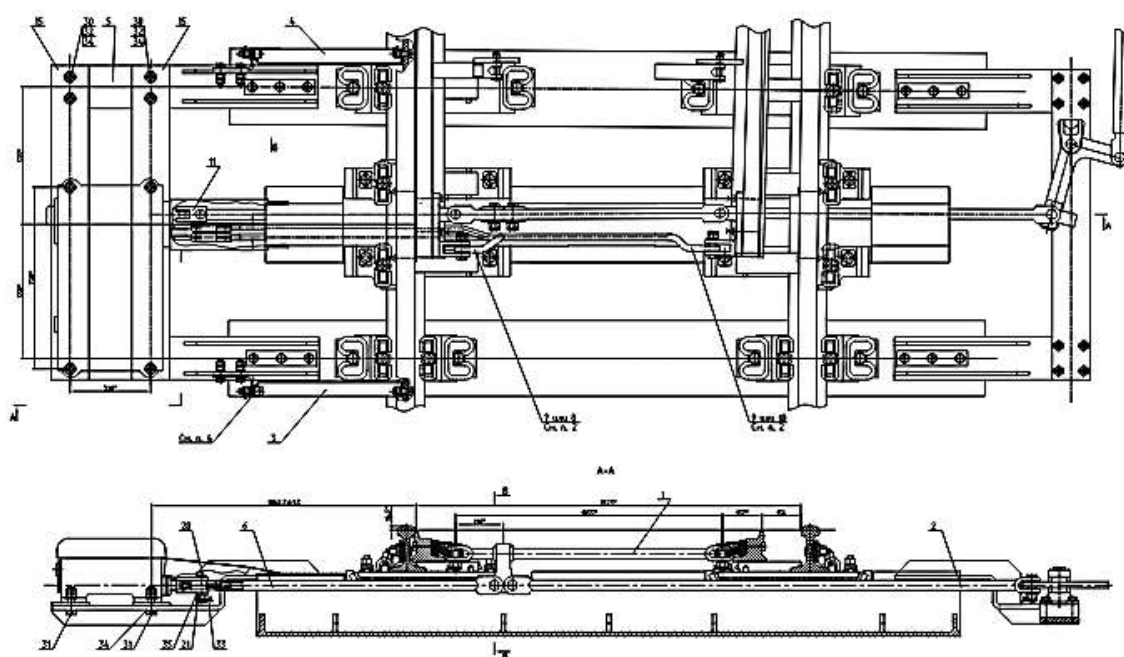


Рис. 1. Стрелочный перевод проекта Р65 М1/11 с повышенным ресурсом пропущенного тоннажа

Но отказ от фундаментных угольников, на которых ранее крепился электропривод, приводит к тому, что крепление электропривода не имеет жёсткой механической связи с рамными рельсами. А это не обеспечивает надёжное соблюдение требования по недопущению отставания острия от рамного рельса, подвижного сердечника крестовины от усовика на 4 мм и более.

С таким построением кинематической схемы установки электропривода на стрелочном переводе с учётом особенности эксплуатации:

- воздействию механических нагрузок с амплитудным значением ускорений до 15g по ГОСТ Р 55369 при проходе подвижного состава по стрелке;

– действующими нормами содержания пути (Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р, Табл. 3.6. Нормы устройства стрелочных переводов и глухих пересечений по ширине колеи [2]) может составлять:

- по уширению +4 мм;
- по сужению -2 мм ($\Sigma=6$ мм),

не может обеспечиться выполнение требования п. 53 ПТЭ [1], т. к. не контролируется отставание остряка от рамного рельса, подвижного сердечника крестовины (ПСК) от усовика.

Рассмотрим более подробно.

Во всех действующих в настоящее время проектах стрелочных переводов электропривод замыкает и удерживает прижатый остряк к рамному рельсу внутренним замыкателем или при помощи внешнего замыкателя, а контрольная система автопереключателя электропривода при помощи контрольных линеек и контрольных тяг гарантировано обеспечивает контроль плотности их прижатия соответственно – остряка к рамному рельсу, ПСК к усовику. Такое положение гарантировано обеспечивается за счёт того, что электропривод имеет жесткую механическую связь с рамными рельсами в виде рамы-каркаса, исполненной на базе фундаментных угольников.

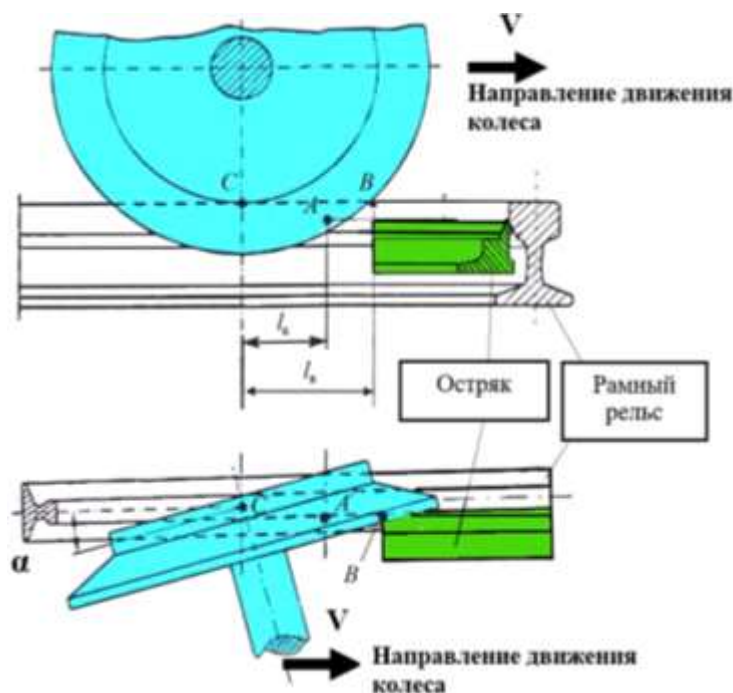


Рис. 2. Схема частного случая (экстремального) контактирования колеса подвижного состава с рамным рельсом при набегании колеса на рельс

В такой кинематической схеме смещение рамных рельсов от бокового давления гребня колеса при въезде на стрелку в противошёрстном направлении (см. рис. 2), даже в пределах +4 мм, приведёт к смещению рамы-каркаса и соответственно самого электропривода и, посредством шибера и рабочей тяги, – самого остряка. А это не повлечёт увеличение зазора между прижатым остряком и рамным рельсом.

Если провести анализ предлагаемой разработчиками кинематической схемы (см. рис. 1) – крепление электропривода на стрелочных брусках без жесткой механической связи с рамными рельсами можно получить величину отставания остряка от рамного рельса более 10 мм даже при нормативном содержании стрелочного перевода. Контрольная система электропривода может обнаружить такое событие в виде потери контроля под составом, но будет уже поздно.

Оценим сказанное в цифрах.

Суммарный зазор между остряком и рамным рельсом определяется по формуле

$$\Sigma\Delta = \Delta_o + \Delta_{ppy} + \Delta_{ppc} + \Delta_{ш} , \quad (1)$$

где $\Sigma\Delta$ – суммарный зазор между остряком и рамным рельсом;

Δ_o – максимально допустимый зазор между остряком и рамным рельсом. $\Delta_o < 4$ мм;

Δ_{ppy} – максимально допустимое значение отклонение рамного рельса по уширению колеи. $\Delta_{ppy} = 4$ мм;

Δ_{ppc} – максимально допустимое значение отклонение рамного рельса по сужению колеи. $\Delta_{ppc} = 2$ мм. Принимается в этом случае колея уже была сужена на 2 мм;

$\Delta_{ш}$ – суммарный зазор в шарнирных соединениях рабочих тяг стрелочной гарнитуры. В данном случае $\Delta_{ш} = 0$ и в расчёте не принимает участие.

$$\Sigma\Delta = 4 + 4 + 2 = 10 \text{ мм.}$$

Что не допустимо!

Условия обеспечения безопасности движения поездов величина суммарного зазора не должна превышать $\Sigma\Delta \leq 9,2$ мм [4].

Вторым отрицательным аспектом является установка стрелочных электроприводов ниже подошвы рельсов, а это имеет свои риски и может привести к тому, что:

– не может обеспечить надёжную эксплуатацию электропривода (попадание осадков, образование льда в шпальном ящике приведёт

к потере работоспособности шиберов, контрольных линеек, курбельной заслонки);

- в случае попадания балласта под корпус электропривода в процессе воздействия подвижного состава может произойти неконтролируемое ослабление шурупно-дюбельного крепления электропривода, что может привести к потере контроля положения или, что еще хуже к снятию запирающего/удерживающего остряков стрелки – **опасный отказ**;

- при эксплуатации в зимний период не исключается возможность вмерзания корпуса электропривода в балласт, что приведет к потере работоспособности механических узлов и не переводу стрелки;

- для обеспечения перевода при помощи курбельной рукоятки требуется наличие приямка и его постоянное поддержание в нормальном состоянии, включая зимний период, иначе работником службы движения стрелку в ручном режиме не перевести – **опасный отказ**.

Рассматривая конструкцию стрелочного перевода проекта Р65 М1/11 с повышенным ресурсом пропущенного тоннажа (см. рис. 1), учитывая его положительные аспекты, о которых описано выше, безусловно напрашиваются технические решения по его доработке.

А это:

Во-первых – оборудование стрелочного перевода внешними замыкателями остряков и ПСК, что помимо обеспечения надежного замыкания и удержания в замкнутом положении остряков и ПСК, повышения уровня безопасности, позволит значительно увеличить ресурс стрелочного перевода, а также позволит увеличить скорость движения подвижного состава по стрелке;

Во-вторых – установить электропривод на уровне не ниже подошвы рамных рельсов, что позволит исключить описанные выше риск при его эксплуатации.

В-третьих – в новом проекте следует применять современные прогрессивные технические решения, которые прошли разработку, сертифицированы и успешно работают на станции Новки Горьковской ж.д. Такие как: контрольные тяги со вставками из полимерного изоляционного материала, рабочие тяги с узлом регулировки длины, исключая применение шарнира Гука и стрелочных электроприводов типа ПС-236 Н(К) с ходом шиберов 236 мм с обеспечением двухконтурного замыкания и удержания остряков.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [утверждены Приказом Минтранса России № 250 от 23 июня

2022 г.] / Консорциум кодекс : [сайт]. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/351240235?ysclid=m2bh7x0cdh738386012> (дата обращения: 16.10.2024). – Текст : электронный.

2. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути [утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р]. – 236 с. – Текст : непосредственный.

3. Минаков, Е. Ю. Особенности построения и эксплуатации стрелочных переводов для организации скоростного и высокоскоростного движения поездов : монография / Е. Ю. Минаков, П. С. Сидаев. – Москва : РУТ (МИИТ), 2024. – 176 с. – Текст : непосредственный.

4. Горелик, А. В. Методы обеспечения безопасности перевода, замыкания и контроля положения стрелок : монография / А. В. Горелик, Д. Е. Минаков. – Москва : РУТ (МИИТ), 2021. – 142 с.). – Текст : непосредственный.

5. Технические требования к конструкции железнодорожного пути и системы его технического обслуживания, обеспечивающих наработку пропущенного тоннажа 2,5 млрд тонн брутто [утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 13 апреля 2023 г. № 931/р]. – Текст : непосредственный.

О. А. Соловьёва, И. С. Будин, Д. Д. Бабаков
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЙ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ БЛАГОДАРЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Система непрерывного анализа показателей состояния датчиков с использованием нейросетевого программного обеспечения позволяет автоматически оценивать состояние комплектного распределительного устройства и фиксировать отклонение от номинального режима работы, тем самым определяя потенциальную угрозу возгорания и своевременно оповещая об опасности работников и включение системы пожаротушения.

Ключевые слова: КРУН; пожар; возгорание; комплектное распределительное устройство; нейросеть; прогнозирование; анализ; предотвращение; ущерб.

Комплектные распределительные устройства наружной установки (КРУН) широко используется как в системах общепромышленного электроснабжения, так и в системе тягового электроснабжения 6–35 кВ.

Однако, как и для остальных видов оборудования электроэнергетики диагностика состояния осуществляется на основе периодически проводимых регламентированных видов мониторинга. Например для системы тягового электроснабжения токовыми являются: осмотр без вывода из работы, текущий ремонт, межремонтные испытания, тепловизионное обследование. Это не исключает появление повреждений в период между проводимыми работами. Например, пробой изоляции в сетях данного диапазона напряжений и появление однофазного замыкания на землю не является в соответствии с (ПУЭ) аварийным режимом и не требует отключение электроустановки. При этом данный вид ненормального режима может привести к выводу оборудования из строя вследствие возрастания напряжения неповреждённых фаз в $\sqrt{3}$ раз, к опасности электротравматизма персонала и к потенциальному возникновению пожара.

В настоящей работе предлагается принципиально изменить подход к мониторингу состояния электрооборудования на основе непрерывного контроля состояния для раннего выявления возможных повреждений. Систему предлагается сделать автоматизированной с активным использованием нейросетевых технологий. Структурная схема системы представлена на Рисунке.

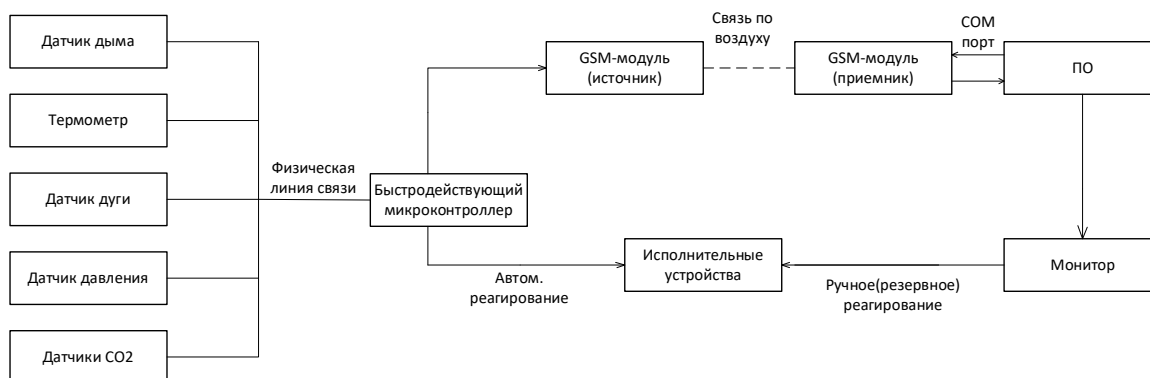


Рисунок. Структурная схема системы

Важно акцентировать, что функциональное назначение системы ограничивается задачами прогнозирования, анализа и своевременного оповещения персонала, ответственного за эксплуатацию комплектного распределительного устройства (КРУ), о выявленных отклонениях в работе электроустановки. Система не выполняет функций прямого управления технологическими режимами оборудования. Таким образом,

окончательное решение о проведении тех или иных оперативных переключений или профилактических мероприятий остаётся за персоналом, который использует прогнозные данные и рекомендации системы в качестве мощного инструмента поддержки принятия решений.

Общую работу системы, интегрирующую в себе устройства сбора, передачи, обработки данных и мониторинга, можно структурно разделить на четыре фундаментальных и взаимосвязанных этапа:

1. Сбор телеметрии и передача данных. На этом уровне происходит считывание первичных показаний с аналоговых датчиков: (дымовые оптико-электронные извещатели, тепловые извещатели (максимально-дифференциальные), извещатели электрической дуги и пламени, система аспирационного дымоуведения), и их преобразование в цифровую форму и последующая передача на сервер обработки по беспроводным каналам связи.

Таблица

Тип датчика	Конкретный пример / Требования	Обоснование и стандарты
Дымовой оптико-электронный точечный извещатель	Астра-ПИ (Радиус), ИП 212-XX (серия). Должны быть адресно-аналоговыми	СП 5.13130.2009, п. 13.3.5: Для защиты помещений с электрооборудованием под напряжением (серверные, щитовые, КРУ) применяются дымовые извещатели. Адресно-аналоговая система позволяет отслеживать уровень задымленности в динамике, снижая ложные срабатывания
Аспирационный дымовой извещатель (АПД)	VESDA (VLI, VLF), SISTORE-X1, ASD-100. Чувствительность: 0.5–2 % /м	СП 5.13130.2009, п. 13.3.6: Рекомендуется для раннего обнаружения в уникальных объектах. Идеален для КРУ: Забирает воздух из закрытых отсеков КРУ через трубки. Обнаруживает тление на самой ранней, невидимой глазу стадии. Нечувствителен к электромагнитным помехам.
Тепловой максимально-дифференциальный извещатель	ИП 101-XX-A1 (с самовосстановлением). Пороги: макс. ~70°C, дифф. ~5–10°C/мин	ГОСТ Р 53325-2012: Дифференциальный канал реагирует на скорость роста температуры, что характерно для развития дугового и короткого замыкания. Защищает от инерционности дымовых датчиков при быстром тепловом воздействии

Окончание Таблицы

Тип датчика	Конкретный пример / Требования	Обоснование и стандарты
Высокочувствительный датчик дуги (ДД)	«Орион-ДЗ», «СФОТЕК-ДД», аналог Arc Guard	Ключевое устройство для КРУ! Обнаруживает интенсивный свет дуги в УФ/ИК спектрах в течение миллисекунд. ПУЭ, гл. 3.1, 5.3: Требуют защиты электроустановок от токов КЗ, что реализуется такими системами. Работает в логике "И" с датчиком перепада давления для исключения ложных срабатываний от вспышек света
Датчик перепада давления (для фиксации дуги)	Специализированный датчик, срабатывающий на скачок давления > 5 кПа	ГОСТ Р 53325-2012 (п. 4.2.1): Фиксирует физическое последствие дуги – ударную волну от взрывного расширения воздуха. Используется в паре с ДД для формирования достоверного сигнала "Пожар-Дуга"
Ручной пожарный извещатель (ИПР)	ИПР 513-10, ИПР 3SU с защитой от случайного пуска (стекло)	СП 5.13130.2009, п. 13.3.2: Устанавливаются на путях эвакуации у выходов из защищаемого помещения
Тросовое устройство механического пуска (ТУ)	Механический привод, проложенный вдоль ряда шкафов КРУ	ГОСТ Р 53281-2009: Обеспечивает возможность немедленного ручного пуска системы при обнаружении пожара персоналом, даже в обход ШУП

2. Серверная обработка и интеллектуальный анализ. Принятые данные подвергаются глубокому анализу с помощью специализированного программного обеспечения, использующего алгоритмы машинного обучения и рекуррентные нейронные сети (RNN) для выявления аномалий и построения прогнозов. Полностью обученная модель решает следующие задачи:

- Многовариантное прогнозирование.
- Прогнозирование термической нагрузки.
- Оценка риска пробоя изоляции.
- Предсказание дуговых разрядов.
- Отслеживание аномалий без обучающих моделей.

3. Визуализация результатов и формирование отчетности. Результаты анализа, включая прогнозные оценки и предупреждения, в удобной и наглядной форме передаются обратно на диспетчерский пункт для визуализации на мониторах оперативного персонала и форми-

рования отчетных документов. Информация доводится до оперативного персонала через специальный веб-интерфейс который включает себя:

- Мнемосхемы КРУ в реальном времени с цветовой индикацией состояния.
- Интерактивные графики.
- Систему оповещений: всплывающие уведомления с классификацией по критичности (низкая, средняя, высокая) и рекомендациями (рекомендуется осмотр ячейки № 5, необходимо снизить нагрузку на фидере № 2).

Каждый из этих этапов является критически важным звеном в общей цепи, и нарушение функционирования любого из них неминуемо приводит к сбою всей системы. В связи с этим, в архитектуру проекта изначально заложены механизмы сквозной обратной связи и самодиагностики. Эти механизмы позволяют не только в реальном времени отслеживать работоспособность каждого компонента, но и существенно облегчают процесс, тестирования и последующего технического обслуживания системы.

Исходные данные предоставляются аналоговыми датчиками, интегрированными в другую систему мониторинга. Поскольку передача аналогового сигнала на большие расстояния сопряжена с трудностями и подвержена помехам, первичной задачей является точное преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму. Для этого предусматривается микроконтроллер STM32F373 с встроенным 16-битным АЦП и возможностью реализации до 39 каналов. Также микроконтроллерное ПО реализует цикличность передачи данных.

Для соединения с управляющим компьютером используется специализированные GSM-R модули, такие как Siemens MC75i-R, используемые в промышленности на ж/д транспорте. Предполагается использование двух модулей как источник, расположенный в КРУ и приёмник, расположенный в здании управления. Однако использование обратной связи меняет роли приемника с источником, тем самым обеспечивая полудуплексную связь.

Прием данных на серверной стороне обеспечивается GSM-модулем, аналогичным установленному в аппаратном комплексе. Связь с вычислительным сервером организуется через виртуальный СОМ-порт. На сервере функционирует специализированное программное обеспечение, которое выполняет следующие ключевые операции:

- Контроль целостности и своевременности поступления данных.
- Отправка квитанций о приеме (обратная связь).
- Инициация повторной передачи в случае обнаружения потерь или повреждения данных.

- Запуск процедуры интеллектуального анализа при успешном приеме информационного пакета.

Обработка данных осуществляется с применением рекуррентных нейронных сетей (RNN), оптимально подходящих для работы с временными рядами. Алгоритмы машинного обучения решают комплекс задач:

- Анализ временных рядов: постоянный мониторинг динамики изменений показаний датчиков.

- Выявление паттернов и аномалий: автоматическое обнаружение скрытых закономерностей и отклонений от нормального режима работы.

- Прогнозирование термической нагрузки: расчет ожидаемого теплового состояния оборудования.

- Оценка риска пробоя изоляции: анализ факторов, способных привести к порче изоляционных материалов.

- Предсказание дуговых разрядов: прогнозирование возможности возникновения опасных электрических дуг.

Итоговым результатом работы нейросети является интегральный показатель состояния системы, выраженный в процентном отношении к нормальному режиму. Все исходные данные, результаты анализа и соответствующие временные метки в обязательном порядке сохраняются в централизованную базу данных для последующего аудита, анализа и дальнейшего обучения моделей.

После завершения цикла обработки на сервере, результирующий массив данных (прогноз, статус, рекомендации) направляется на устройства визуализации и выводятся на дисплей оперативного персонала в удобном для восприятия виде – в форме мнемосхем, графиков, цветовых индикаторов и текстовых предупреждений.

4. Экономическое и эксплуатационное обоснование. Внедрение системы позволяет перевести обслуживание КРУ с планово-предупредительного на прогнозно предупредительный принцип. Это даёт следующие экономические эффекты:

- Снижение затрат на ремонт: предотвращение крупных аварий, исключает дорогостоящий ремонт системы электроснабжения.

- Сокращение простоев: минимизация внеплановых отключений электроснабжения.

- Оптимизация техобслуживания: плановые ремонты выполняются целенаправленно на основе реального состояния оборудования.

- Продление срока службы оборудования: своевременное выявление и устранение негативных факторов снижает износ оборудования.

Заключение

Внедряемая система представляет собой законченное, технологически современное решение, которое значительно повышает уровень пожарной безопасности и эксплуатационной надежности электроустановок. Сквозная архитектура с обратными связями, применение методов искусственного интеллекта для прогнозирования и детализированная визуализация результатов делают систему мощным инструментом для предотвращения аварийных ситуаций и перевода обслуживания критической инфраструктуры на проактивный принцип.

Библиографический список

1. СП 485.1311500.2020. – Текст : непосредственный. – Основной документ проектирования АУГП.
2. ГОСТ Р 53325-2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний. – Текст : непосредственный.
3. Отчёт МСЖД-2023: статистика происшествий на железных дорогах. – URL : <https://zdmira.com/articles/otchet-mszhd-2023-statistika-proisshествij-na-zheleznnykh-dorogakh>. – Текст : электронный.
4. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. – Текст : непосредственный.
5. Федеральный закон № 123-ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. – Текст : непосредственный.

С. А. Филиппов, А. С. Соколов, Е. Д. Шишкин
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ КРУН В ЧАСТИ ЭЛЕКТРО-ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассмотрены пути повышения надёжности и пожарной безопасности работы высоковольтных комплектных распределительных устройств наружной установки (КРУН) напряжением 6–35 кВ. Проанализированы причины возгораний и особенности их развития в ячейках КРУ. Обоснован выбор хладагента 125 (HFC-125) как оптимального огнетушащего вещества для автоматических установок газового пожаротушения. Представлены принципы проектирования, алгоритм

работы и преимущества системы на хладоне, обеспечивающей высокую эффективность тушения и безопасность персонала.

Ключевые слова: КРУН, пожарная безопасность, хладон 125, автоматическое газовое пожаротушение, электроустановки, дуговое короткое замыкание, система оповещения, надёжность, технико-экономическое обоснование.

Высоковольтные комплектные распределительные устройства наружной установки (КРУН) напряжением 6–35 кВ представляют собой критически важные элементы в системах электроснабжения промышленных предприятий и энергетических объектов. Возникновение внутренней электрической дуги или пожара в ячейках КРУ, вызванное пробоем изоляции, перегревом контактов или другими причинами, приводит к катастрофическим последствиям: масштабному разрушению дорогостоящего электрооборудования, длительным перебоям в электроснабжении и созданию непосредственной угрозы жизни обслуживающего персонала [1].

Автоматические установки газового пожаротушения (АУГП) на основе хладона 125 (HFC-125) предназначены для оперативной локализации и ликвидации таких аварийных ситуаций на начальной стадии их развития. Применение хладона 125 обеспечивает высокую эффективность тушения в электроустановках, находящихся под напряжением, и характеризуется рядом эксплуатационных преимуществ, главным из которых является повышенная безопасность для персонала по сравнению с традиционными углекислотными и пенными системами.

Проанализировав пожарную опасность в ячейках КРУ можно сделать вывод, что источниками возгорания являются: дуговые короткие замыкания в результате пробоя изоляции, перегрев токоведущих частей в контактных соединениях, повреждение силовых и измерительных трансформаторов, выход из строя вакуумных или элегазовых выключателей.

Особенности развития: пожар развивается в замкнутых объемах ячеек КРУ, что приводит к быстрому нарастанию температуры и давления. Горение полимерных изоляционных материалов сопровождается интенсивным выделением дыма и токсичных продуктов горения. Высокая температура (до 3000–4000 °С при дуговом коротком замыкании) вызывает термическое разрушение оборудования и распространение пожара на смежные ячейки.

Вследствие пожара имеется полное или частичное разрушение ячеек КРУ, выход из строя смежного электрооборудования, длительный перерыв в электроснабжении (согласно ПУЭ больше 24 часов запрещено), значительные материальные потери, риск травмирования персонала [2].

Для обоснование выбора хладона 125 в качестве огнетушащего вещества сделан сравнительный анализ:

1. Углекислота (CO₂):

Достоинства

Высокая эффективность: газ мгновенно заполняет весь объем, включая труднодоступные полости, и быстро достигает нужной концентрации. Электрическая нейтральность: CO₂ является диэлектриком, что безопасно для тушения под напряжением. Не оставляет следов после применения, не требует уборки и не вредит оборудованию. Химически инертен и не вызывает коррозии. Баллоны имеют длительный срок хранения без потери свойств.

Недостатки и опасности

Главный недостаток – смертельная опасность для людей: концентрация для тушения (12–15 %) смертельна. Требуются строгие меры безопасности (сигнализация, задержка пуска) [3]. При тушении под напряжением возможно короткое замыкание из-за образования твердой фазы CO₂ ("снега") и термический удар от резкого охлаждения. Струя газа может вызвать "обратную тягу", выброс пламени. CO₂ не охлаждает оборудование, поэтому возможны повторные возгорания. Для эффективности требуется высокая герметичность помещения. Из-за этих рисков современные стандарты часто рекомендуют другие огнетушащие газы.

2. Порошковые и аэрозольные составы:

Достоинства

Универсальность и эффективность: составы тушат большинство классов пожара, включая электрооборудование под напряжением. Высокая скорость тушения и подавления пламени. Относительно низкая стоимость и простой монтаж систем. Автономность: аэрозольные генераторы могут работать без подвода коммуникаций.

Недостатки и опасности

Сильное загрязнение: порошок и аэрозольная сажа проникают повсюду, выводя из строя электронику и дорогостоящее оборудование. Требуют сложной и дорогой очистки после срабатывания. Нулевая видимость и затрудненное дыхание в помещении при тушении, что опасно для людей. Ограниченная проникающая способность: составы не эффективны в труднодоступных полостях и объемных помещениях. Агрессивное воздействие: порошок может вызывать коррозию металлов и повреждение изоляции при длительном контакте. Опасность термического воздействия струи аэрозоля или порошка на раскаленное оборудование.

3. Хладоны 125:

Достоинства

Хладон 125 имеет низкую токсичность, что позволяет применять его в помещениях с возможным присутствием людей. Концентрация для тушения (около 9–9,5 %) значительно ниже опасной для здоровья. Обладает высоким огнетушащим свойством, преимущественно за счет химического торможения реакции горения. Быстро достигает необходимой концентрации.

Как и CO_2 , является диэлектриком, что делает его безопасным для тушения электрооборудования под напряжением. Не оставляет следов, не повреждает и не загрязняет оборудование, что исключает затраты на уборку.

После тушения помещение легко проветрить, что ускоряет возвращение оборудования в строй. К качеству огнетушащего вещества предъявляются строгие требования [4]: массовая доля хладона 125 – не менее 99,9 %, содержание воды – не более 0,001 %, кислотность – не более 0,0001%, а также отсутствие механических примесей и масел.

Недостатки и опасности

Сам огнетушащий газ и система на его основе значительно дороже, чем системы на CO_2 или порошке. Для удержания расчетной концентрации требуется достаточно герметичное защищаемое помещение. При тушении возможно образование коррозионно-активных продуктов разложения (например, фтороводорода), особенно в зоне открытого пламени. Рекомендуются последующая проверка и очистка контактов и чувствительной электроники.

Для тушения КРУ наиболее подходящим вариантом является хладон 125, поскольку он сочетает высокую эффективность с безопасностью. В отличие от смертельно опасного для людей CO_2 , который также рискует вызвать короткое замыкание из-за образования «снега», хладон допускает применение в присутствии персонала и не вредит электрооборудованию. В сравнении с порошковыми и аэрозольными составами, которые универсальны и дешевы, но гарантированно загрязняют и выводят из строя чувствительную электронику, хладон не оставляет следов и не требует сложной очистки. Таким образом, хотя хладон и дороже аналогов, он обеспечивает ключевое для КРУ требование – сохранность дорогостоящего оборудования при исключении риска для жизни людей.

Физико-химические свойства хладона 125:

- химическая формула: C_2HF_5 ,
- молекулярная масса: 120,02 г/моль,
- температура кипения: $-48,5^\circ\text{C}$,

- плотность пара (при 20°C): 5,07 кг/м³,
- огнетушащая концентрация для класса Е (электрооборудование): 9–10 %,
- диэлектрическая прочность: 38 кВ (при 12,5 % концентрации) [5].

Для проектирования и расчета системы необходим зонный (модульный) принцип проектирования. Система строится по принципу независимых модулей тушения для каждой ячейки КРУ или группы ячеек. Это позволяет минимизировать расход огнетушащего вещества, обеспечивает локальное воздействие на очаг пожара, сохраняет работоспособность смежного оборудования, снижает капитальные и эксплуатационные затраты.

Гидравлический расчет трубопроводов выполняется в соответствии с Приложением Е [6] с учетом рабочего давления в модулях, геометрии распределительной сети, количества и типа распылителей требуемого времени подачи (ОТВ) – огнетушащего вещества (не более 10 секунд).

Система располагается на шкафе управления пожаротушением (ШУП), который выполняет ключевые функции: прием сигналов от всех типов извещателей, формирование команд на отключение вентиляции и электропитания, реализацию временной задержки пуска (10–30 секунд), управление электромагнитными пусковыми клапанами, контроль целостности шлейфов и линий связи, индикацию режимов работы и взаимодействие с общей системой пожарной сигнализации здания [3].

Для обнаружения возгорания используется комплекс пожарных извещателей. В их число входят дымовые оптико-электронные извещатели для обнаружения продуктов горения изоляции, тепловые максимально-дифференциальные извещатели, реагирующие на быстрое повышение температуры, и высокочувствительные оптоволоконные датчики дуги (например, «Орион-ДЗ»), обнаруживающие дуговое короткое замыкание на миллисекундной стадии. Дополняют систему аспирационные системы дымообнаружения (АПД) для выявления тления на ранней стадии, ручные пожарные извещатели и датчики давления, фиксирующие скачок давления при возникновении дуги [7].

Огнетушащее вещество (хладон 125) хранится в модулях газового пожаротушения, состоящих из стальных баллонов вместимостью от 10 до 100 литров. Модули оснащены запорно-пусковыми устройствами с электромагнитным приводом, предохранительными манометрами с электрическими контактами, тросовыми устройствами механического пуска, а также запорной арматурой и коллекторами [8].

Алгоритм работы системы начинается с дежурного режима, в котором осуществляется непрерывный опрос состояния всех извещателей,

контроль целостности шлейфов сигнализации, мониторинг исправности линий связи и контроль основного и резервного питания.

Сигнал «Пожар» формируется по одному из сценариев: основной – при срабатывании двух разноплановых извещателей в одной ячейке (логика «И»), ускоренный – при срабатывании двух извещателей одного типа в одной ячейке, или ручной – при активации ручного извещателя или тросового устройства.

После обнаружения пожара система выполняет подготовительные операции: немедленно включает светозвуковое оповещение «ВНИМАНИЕ! ЗАПУСК СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ!» [9], формирует сигналы на отключение приточно-вытяжной вентиляции, подает команды на отключение высоковольтных выключателей через катушки отключения (КО) и блокирует устройства АВР [ПУЭ].

Затем активируется задержка пуска на 10–30 секунд. В это время на табло ШУП отображается обратный отсчет, что позволяет прервать цикл при ложном срабатывании. По истечении задержки осуществляется пуск огнетушащего вещества: подается мощный электрический импульс на электромагнитные клапаны модулей, открываются запорно-пусковые устройства [10], и хладон 125 поступает в распределительную сеть.

Факт срабатывания подтверждается датчиками давления, фиксирующими давление в магистральном трубопроводе, после чего формируется сигнал «Газ выпущен», и информация передается на центральный пост сигнализации. На этапе тушения хладон 125 через распылители поступает в защищаемый объем, создавая огнетушащую концентрацию 9–10 % в течение 10 секунд и ингибируя цепную реакцию горения. После этого система переходит в послепусковой режим с индикацией состояния «Газ запущен», блокировкой до перезарядки и сброса аварии и контролем давления в баллонах с сигнализацией «Требуется перезарядка». Структурная схема работы показана на Рисунке.

Требования к монтажу, эксплуатации и безопасность: модули пожаротушения должны размещаться в отапливаемых помещениях с температурой от +5 °С до +40 °С. Ключевые требования к системе обогрева КРУН зимой сводятся к автоматическому поддержанию положительной температуры (+5 °С...+15 °С) во всех критически важных отсеках для предотвращения конденсации влаги и обледенения [11].

Распределительные трубопроводы выполняются из стальных бесшовных труб [12], а распылители устанавливаются в верхней зоне защищаемых ячеек. Обеспечение свободного доступа к оборудованию для обслуживания.

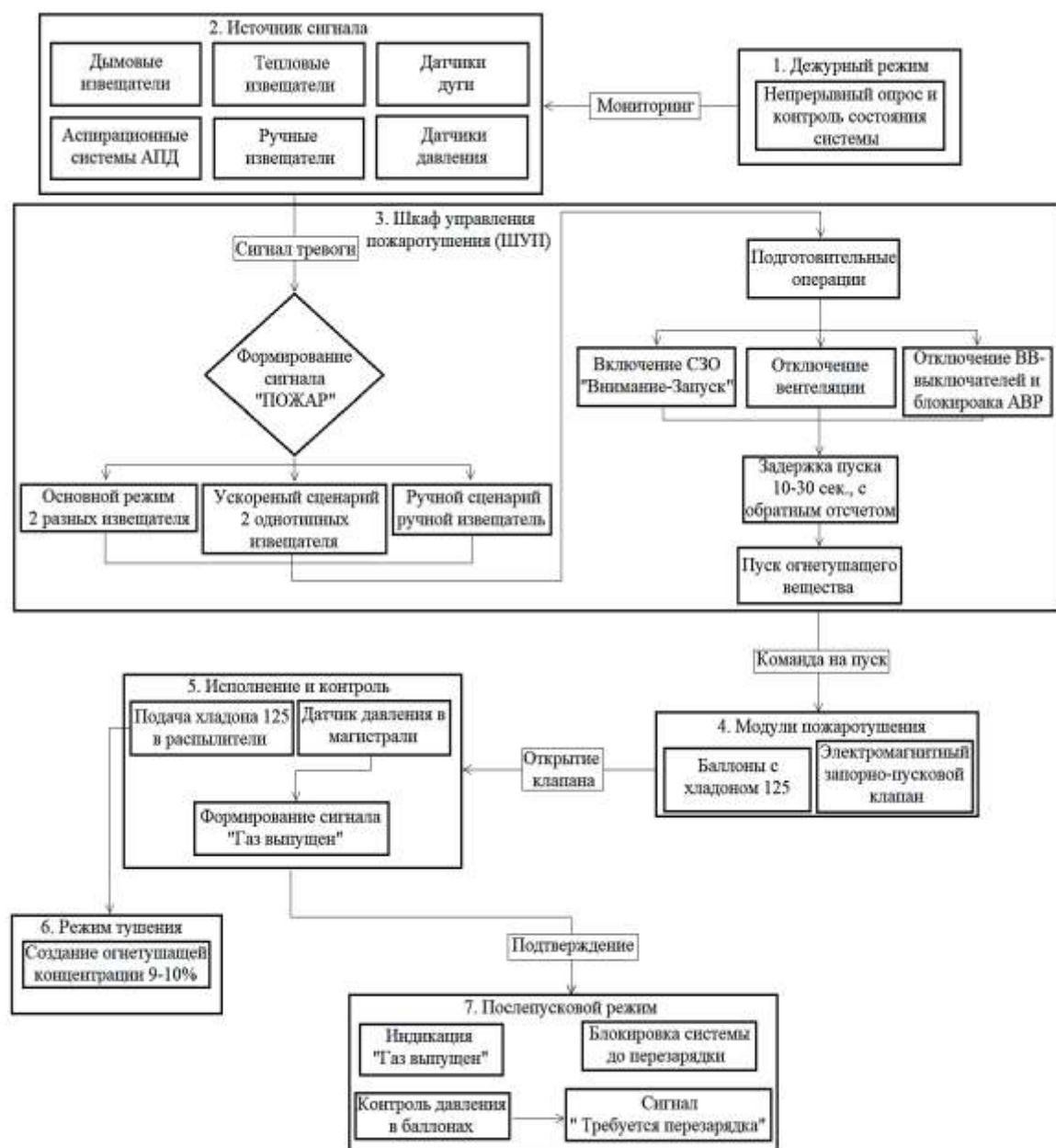


Рисунок. Структурная схема работы газового пожаротушения

Эксплуатационные требования включают ежеквартальную проверку работоспособности системы, ежегодный контроль массы ОТВ в баллонах, перезарядку модулей после срабатывания или истечения срока службы и обязательное обучение персонала [13], [14].

Для обеспечения безопасности персонала предусмотрено светозвуковое оповещение перед пуском системы, временная задержка пуска для эвакуации, блокировка входа в помещение при срабатывании, предупреждающие таблички и знаки безопасности, а также дублирующие

системы ручного пуска и остановки. Защита оборудования обеспечивается за счет отключения электропитания перед подачей ОТВ [15], минимального термического и коррозионного воздействия на электронные компоненты и сохранения диэлектрических свойств изоляции.

Технико-экономическое обоснование: капитальные затраты включают стоимость оборудования (ШУП, извещатели, модули, трубопроводы), монтажные и пуско-наладочные работы, а также проектные работы. Эксплуатационные расходы складываются из стоимости хладагента 125 для перезарядки, затрат на техническое обслуживание и периодические испытания.

Стоимость системы пожаротушения составляет 2–5 % от стоимости защищаемого оборудования КРУ. При этом система предотвращает потенциальные убытки от полного разрушения ячейки КРУ (от 1 до 5 млн рублей), простоя производства (от 0,5 до 2 млн рублей в сутки) и штрафных санкций за нарушение электроснабжения, что подтверждает ее высокую экономическую эффективность.

Проект автоматической установки газового пожаротушения на основе хладагента 125 для высоковольтных ячеек КРУ представляет собой современное техническое решение, обеспечивающее надежную противопожарную защиту критически важных объектов электроснабжения.

Представленная система газового пожаротушения обладает рядом ключевых преимуществ, которые делают её оптимальным решением для защиты КРУ. Она обеспечивает высокую эффективность тушения электрооборудования, находящегося под напряжением, что является критически важным требованием [16]. Быстродействие системы, при котором время подачи огнетушащего вещества (ОТВ) не превышает 10 секунд, позволяет локализовать и ликвидировать очаг возгорания на самой ранней стадии. При этом используется хладагент 125, обладающий низкой токсичностью, что в сочетании с комплексом предупредительных мер гарантирует безопасность для персонала.

Важным эксплуатационным достоинством является полное отсутствие повреждения дорогостоящего электрооборудования после тушения, поскольку хладагент не вызывает коррозии и не ухудшает диэлектрические свойства изоляции. Система разработана в строгом соответствии со всеми требованиями действующих нормативных документов [17]. Проведенное технико-экономическое обоснование подтверждает экономическую целесообразность и быструю окупаемость проекта, т. к. стоимость системы несопоставимо мала по сравнению с потенциальными убытками от пожара.

Таким образом, система обеспечивает комплексную и надежную защиту ячеек КРУ от пожаров любой природы, эффективно минимизируя материальные потери и сводя к минимуму риски для жизни и здоровья персонала.

Библиографический список

1. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности // Собрание законодательства РФ. – 2008. – № 30 (ч. I). – Ст. 3579. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 12.1.004–91. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 1992-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1992. – 8 с. – Текст : непосредственный.
3. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. – Введ. 2009-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 48 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ Р 53280.3–2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 3. Хладоны. Общие технические требования и методы испытаний. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 12 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ Р 53280.4–2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Общие технические требования к хладагентам и составам на их основе для объёмного тушения. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 15 с. – Текст : непосредственный.
6. СП 485.1311500.2020. Установки пожаротушения автоматические. Правила проектирования и монтажа. – Введ. 2021-03-01. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 77 с. – Текст : непосредственный.
7. ГОСТ Р 53325–2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 80 с. – Текст : непосредственный.
8. ГОСТ Р 53281–2009. Установки газового пожаротушения автоматические. Модули и батареи. Общие технические требования. Методы испытаний. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 23 с. – Текст : непосредственный.
9. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. – Введ. 2009-05-01. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 32 с. – Текст : непосредственный.

10. ГОСТ Р 57569–2023. Клапаны запорно-пусковые для модулей автоматических установок газового пожаротушения. Общие технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2023. – 26 с. – Текст : непосредственный.

11. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. – Издание 7-е. – Москва : Энергоатомиздат, 2003. – 672 с. – Текст : непосредственный.

12. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Глава 4.3. – Москва : Энергоатомиздат, 2003. – 35 с. – Текст : непосредственный.

13. СНиП 3.05.05-84. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. – Введ. 1985-01-01. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 40 с. – Текст : непосредственный.

14. РД 153-34.0-49.101-2003. Инструкция по проектированию пожарной защиты энергетических предприятий. – Москва : ОАО «ВТИ», 2003. – 65 с. – Текст : непосредственный.

15. РД 009-01-96. Типовая инструкция по эксплуатации установок пожаротушения. – Москва : ВНИИПО, 1996. – 30 с. – Текст : непосредственный.

16. ГОСТ Р МЭК 62271-200–2009. Высоковольтные комплектные распределительные устройства. Требования к стойкости к внутренней дуге. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 75 с. – Текст : непосредственный.

17. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390. О противопожарном режиме // Собрание законодательства РФ. – 2012. – № 18. – Ст. 2214. – Текст : непосредственный.

А. С. Яковлева, А. А. Сучкова

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск, Россия*

РОЛЬ УСТРОЙСТВ ГОРОЧНОЙ АВТОМАТИКИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК: АНАЛИЗ И СТАТИСТИКА

Статья рассматривает текущее состояние оснащения сортировочных горок устройствами горочной автоматики, частоту и причины отказов этих устройств за последние несколько лет. Особое внимание уделяется факторам, приводящим к сходу вагонов на сортировочных горках, анализу и статистике таких инцидентов на сети ОАО «РЖД» за последние пять лет. Анализируются методологические подходы и результаты исследований в этой области. Сформированы выводы по ключевым направлениям для дальнейших исследований.

Ключевые слова: горочная автоматика, сход вагонов на горке, отказы элементов ГАЦ, тормозные позиции, сортировочная горка, неправильное регулирование скорости, нарушение условий роспуска.

Сортировочные горки представляют собой фундаментальные элементы железнодорожной инфраструктуры, играющие ключевую роль в процессах формирования и перераспределения вагонных потоков. Их эксплуатация сопряжена с рядом рисков, среди которых наиболее значимым является сход вагонов. Это явление может привести к серьезным последствиям, включая нарушение графика движения, материальный ущерб и, в отдельных случаях, угрозу безопасности персонала, а также парализацию работы транспортной системы. В условиях современной логистики, которая предусматривает особые требованиями к скорости перевозок, даже небольшие задержки на одном из этапов могут вызвать цепную реакцию, нарушая всю логистическую цепочку и приводя к значительным финансовым потерям для всех участников транспортного процесса, от транспортных компаний до конечных получателей груза.

В работе устройств ГАЦ периодически наблюдаются отказы, как и в любой технической системе, важно чтобы такие отказы не приводили к сбоям в работе технологии расформирования составов и сходам вагонов. Анализ причин отказов устройств и причин схода вагонов необходим для оценки работы и выявления наиболее проблемных зон.

В ОАО «РЖД» на 1 июля 2024 г. эксплуатируется 121 механизированная горка, 2734 стрелки горочной централизации, 3239 горочных электроприводов. Из существующих сортировочных горок горочной электрической централизацией оборудовано 30 %; системой горочной автоматической централизацией с возможностью задания программы роспуска – 45 % и современными микропроцессорными системами централизации – 25 % [13].

По данным КАСАНТ всего за 2023 г. было зафиксировано 57 отказов в работе технических средств 1–3 категории в устройствах ГАЦ в службе Ш, из которых 47 произошли по конструктивным причинам, 3 – из-за производственных факторов, 6 – из-за естественного старения (деградационный фактор) и 1 – из-за влияния погодных условий. В 2024 г. зафиксировано всего 39 случаев: 31 – конструктивные отказы, 6 – деградационных и по 1 отказу из-за влияния погоды и по производственным причинам. Если сравнивать с остальными устройствами, где большинство отказов происходит из-за естественного старения, то можно предположить, что физическое состояние устройств ГАЦ находится в лучшем состоянии, а также обслуживание устройств производится на более высо-

ком уровне, чем при обслуживании остальных устройств. Анализ отказов устройств ГАЦ по элементам показал, что 35 % приходится непосредственно на аппаратуру ГАЦ, 10 % – управляющая аппаратура вагонных замедлителей, 7 % – вагонные замедлители, по 6 % – системы контроля заполнения путей, скоростемеры, индуктивно-проводные датчики [13].

В современных системах ГАЦ автоматический перевод стрелок при роспуске составов осуществляется в программном режиме роспуска, который реализуется с использованием релейных блоков, содержащих устаревшие элементы, в частности реле КДР. В данном режиме дежурный по сортировочной горке, руководствуясь сортировочным листком, имеет возможность задания нескольких маршрутов для отцепов в накопитель, что позволяет оптимизировать процесс сортировки вагонов. В процессе эксплуатации релейных систем ГАЦ возможно возникновение сбоев в трансляции заданной программы вследствие повышения переходных сопротивлений на контактах реле КДР. Эти технические неисправности приводят к некорректному переводу стрелок в соответствии с заданными маршрутами, что, в свою очередь, может вызвать движение вагонов по путям, не предназначенным для их дальнейшего следования. Такое явление, известное как «чужак», представляет собой потенциальную угрозу безопасности движения, так как может привести к соударению вагонов и, как следствие, к сходу подвижного состава с рельсового полотна.

Сход вагонов на сортировочной горке это недопустимая ситуация, которая приводит к нарушению работы, останавливает процесс сортировки, ежегодно на сети ОАО «РЖД» происходит несколько подобных случаев, для определения основных причин проведен анализ происшествий в период с 2020 по 2025 гг. [10; 11; 12]

Для анализа причин схода вагонов в период 2020–2025 гг. проанализированы инциденты, произошедшие на следующих станциях: Батайск (СКЖД – 15.09.2020), Инская (ЗСЖД – 31.08.2021), Волжский (ПривЖД – 06.09.2021), Бекасово-Сортировочное (МЖД – 17.10.2021), им. Максима Горького (ПривЖД – 29.12.2021), Братск (ВСЖД – 05.01.2022), Батайск (СКЖД – 19.02.2022), Алтайская (ЗСЖД – 08.04.2022), Джанкой (Крымская ЖД – 02.10.2022), Курган (ЮУЖД – 02.11.2022), Аксарайская II (ПривЖД – 18.11.2022), Аксарайская II (ПривЖД – 17.01.2023), Аксарайская II (ПривЖД – 22.01.2023), им. Максима Горького (ПривЖД – 23.03.2023), Калининград Сортировочный (КЖД – 25.05.2023), Дема (КбшЖД – 20.06.2023), Инская, (ЗСЖД – 01.10.2023), Кемерово-Сортировочное (ЗСЖД – 17.10.2023), Нижний Новгород-Сортировочный (ГЖД – 19.10.2023), Лихая (СКЖД – 15.02.2024), Юдино (ГЖД – 21.02.2024), Нижний Новгород-

Сортировочный (ГЖД – 21.02.2024), Каменск-Уральский (СвЖД – 03.09.2024), Лихая (СКЖД – 19.01.2025), Инская (ЗСЖД – 13.02.2025).

Расследование вышеперечисленных случаев выявило факты систематического нарушения технологии работы сортировочных горок, среди причины сходов были выявлены следующие:

- выполнение маневров с постановкой локомотивов в голове и хвосте составов (порядок безопасного выполнения таких маневров в инструкции по работе сортировочной горки не описан);
- роспуск вагонов при отсутствии в смену полного штата операторов поста централизации (на которых возложены функции перевода стрелок на спускной части сортировочной горки);
- осуществление надвига составов без сопровождения составителем поездов ввиду не оборудования локомотива устройствами ГАЛС;
- роспуск с сортировочной горки полувагонов при наличии в сортировочном листке отметки «НГ» о запрете роспуска (в ручной режиме применение 4 ступени торможения);
- роспуск отцепа, превышающий максимально допустимый вес;
- применения ступени торможения несоответствующей весовой категории отцепа;
- отсутствие в сортировочном листе разделение на отдельные отцепы вагонов различных весовых категорий и применение максимальной ступени торможения в автоматическом режиме порожней платформы;
- возобновлен роспуск без подтверждения регулировщиками скорости движения вагонов при изменении плана роспуска;
- установка тормозного башмака на рельс при торможении отцепа;
- не перевод всех вагонных замедлителей в ручной режим управления при наличии в расформировываемом составе вагона с отметкой «ЗМЧ»;
- не прекращение роспуска вагонов на путь при нахождении вагонов выше парковой тормозной позиции;
- отсутствие проверки достаточной вместимости участков путей перед роспуском, не принятие мер по остановке роспуска вагонов на занятый путь вагонами.

Для анализа было проведено ранжирование всех случаев по характерным причинам и построена диаграмма, показывающая наиболее частые причины схода вагонов на горке (см. Рисунок).

Основными факторами, приводящим к сходу вагонов, является неправильное регулирование скорости скатывания отцепов и нарушение условий роспуска. Регулирование скорости во всех случаях производилось в ручном режиме оператором ГАЦ, опираясь на его мастерство

и опыт. Если более подробно рассмотреть «человеческий фактор», то он включает несоблюдение регламентированных процедур при проведении работ, таких как:

- не перевод вагонных замедлителей в ручной режим управления при необходимости;
- несоблюдение процедуры прекращения роспуска вагонов на путь при наличии вагонов выше парковой тормозной позиции;
- выполнение маневровых операций, которые не регламентированы в инструкции по эксплуатации сортировочной горки;
- роспуск вагонов при отсутствии полного штата операторов поста централизации, недостаточный уровень подготовки и квалификации операторов.

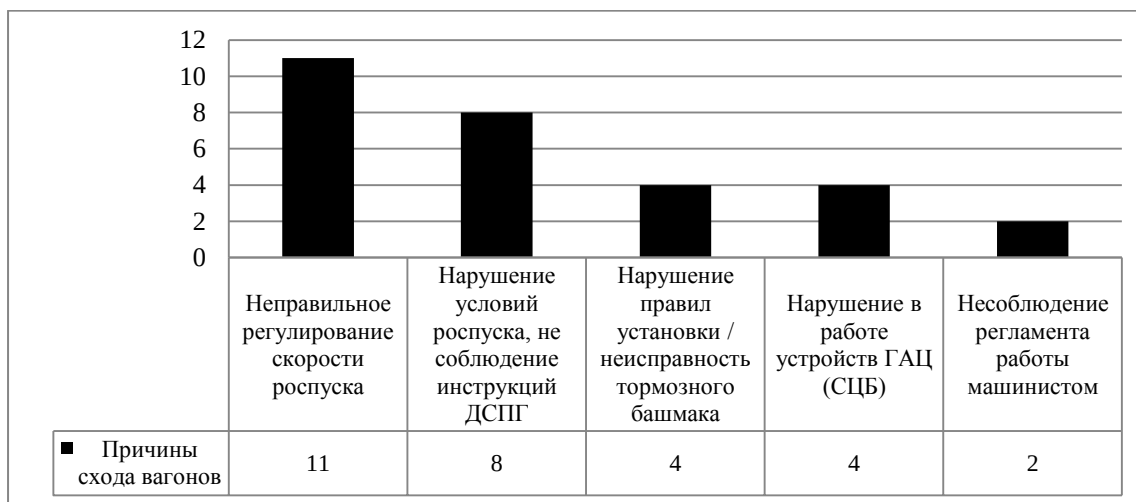


Рисунок. Основные причины схода вагонов на сортировочных горках

Среди основных тенденций научно-исследовательской работы, проводимых для решения проблем схода вагонов на сортировочных горках, можно выделить следующие:

- разработка и внедрение новых подходов к проектированию сортировочных парков, включая расположение путей на ровной поверхности или с небольшим уклоном для обеспечения безопасности и соблюдения нормативов;
- использование анализа данных и мониторинга для повышения эффективности работы сортировочных горок и сокращения времени на устранение неисправностей;
- развитие математических моделей для описания кинематических параметров движения вагонов при торможении, что позволит оптимизировать работу тормозных систем;

- исследование влияния различных факторов на сопротивление движению вагонов для более точного проектирования сортировочных горок;

- разработка рекомендаций по выбору режимов торможения для минимизации вероятности схода подвижного состава при торможении на сортировочных горках.

Далее перечислены выводы по некоторым исследованиям, проводимых для решения проблем при эксплуатации горочной автоматики. Данный список далеко не полный, исследования процессов, происходящих при сортировке вагонов на сортировочных горках, ведутся многими учеными и исследователями, т. к. это важный вопрос, требующий дальнейшего изучения.

Исследование Бессоненко С. А. и Климова А. А. [1] показало, что снижение средних значений сил сопротивления для вагонов приводит к риску превышения допустимых скоростей соударения отцепов. Для предотвращения подобных ситуаций предложено два варианта проектирования сортировочных парков: расположение путей на горизонтальной площадке и размещение первых 100 метров пути на уклоне 0,6 ‰ с последующим следованием на горизонтальной площадке. Расчёты показали, что второй вариант не повлечёт негативных последствий для движения отцепов в сортировочном парке.

В работе Хорошева В. В. 2018 г. [2] рассматривается вопрос повышения перерабатывающей способности сортировочной горки путем внедрения устройств автоматики. Описан процесс износа железнодорожного полотна и влияние это факта на работу сортировочных горок. Предложено внедрение алгоритмов анализа данных и на основании данных от напольных объектов специальное программное обеспечение должно формировать информацию о предосторожностях и меры для их устранения. Также описана методология сбора необходимых данных с объектов инфраструктуры.

В статье [3] предложены математические модели, которые описывают кинематические параметры движения вагонов при прохождении тормозных позиций, произведено описание математического аппарата, сравнение с имеющимися ранее моделями и доказана их обоснованность.

В работе ученых УрГУПС Ситникова С. А. и Гарифуллиной Ю. М. [4] рассмотрено влияние воздушной среды и ветра на удельное сопротивление движения отцепов при расформировании на сортировочной горке, так как изучение данного вопроса может помочь решению некоторых задач при определении и расчете влияния метеорологических условий на процесс роспуска. В итоге представлены графические зави-

симости влияния угла между направлением ветра и осью пути, скоростью скатывания отцепа и скорости встречного ветра, которые могут быть полезны в качестве справочного материала, что может быть полезно при проектировании сортировочных горок.

В работе Козаченко Д. М. (ДНУЖТ) [5] рассмотрены вопросы работы системы прицельного регулирования скорости отцепов при автоматическом расформировании составов, определены основные параметры, влияющие на данный процесс, представлены графика моделирования скатывания тяжеловесных отцепов с учетом действия различных факторов.

В статье Маслюковой Ю. В. и Карасева С. В. [7] рассматривается метод анализа и оценки целесообразности установки точечных вагонных замедлителей на сортировочных горках. Исследование показало, что на сортировочных горках большой мощности нецелесообразно использовать точечные вагонные замедлители в качестве самостоятельных средств регулирования скорости движения отцепов на спускной части. Это связано с особенностями конструктивных параметров сортировочных горок большой мощности, которые приводят либо к снижению скорости роспуска, либо к превышению допустимой скорости входа на точечные замедлители. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку возможности и условий оборудования точечными вагонными замедлителями горок средней и малой мощности с учётом конструктивных и технологических факторов.

В статье [8] рассмотрены вопросы, связанные с движением колеса по рельсу, в частности, причины возникновения момента трения качения и условия отсутствия качения колеса. Основное внимание уделено анализу процессов в зонах затормаживания на тормозных позициях сортировочной горки. Проведённый анализ позволил решить проблему математического моделирования зоны затормаживания тормозных участков сортировочных горок железных дорог с помощью теоремы об изменении кинетической энергии для несвободной материальной точки. Сделаны предложения для анализа процесса торможения вагонов с учетом предложенных математических моделей.

В статье ученых Рижского технического университета [9] рассмотрен процесс колебания вагонов на тормозных позициях, что необходимо для понимания и предотвращения причин схода вагонов. Предложена математическая модель, которая поможет выявить основные факторы, влияющие на колебании при торможении, приводящие к сходу вагонов.

Выводы

Проблема схода вагонов на сортировочных станциях представляет собой сложный технический вызов, требующий системного подхода

для решения. Анализ причин инцидентов выявил, что ключевым фактором, приводящим к подобным происшествиям, является некорректная регулировка скорости движения отцепов, обусловленная человеческим фактором при ручном управлении тормозными позициями горочных замедлителей. Эта проблема усугубляется недостаточной точностью и предсказуемостью человеческого вмешательства в процесс регулирования.

Для минимизации рисков и повышения безопасности сортировочного процесса производится постепенное внедрение комплексной системы автоматизации управления сортировочной станцией (КСАУ СП). Данная система обеспечит автоматическое регулирование тормозных позиций, что значительно снизит вероятность человеческого фактора в управлении движением вагонов.

Руководители ООО «Диалог-транс» и ООО «1520 Сигнал» в статье 2024 г. в журнале АСИ [6] описали назначение, принцип работы, структуру, функции и преимущества применения микропроцессорной системы автоматизации сортировочных горок ГАЦ-АРС, которая уже внедрена на действующих сортировочных станциях, но так и может быть внедрена при новом строительстве. Особенность системы заключается в том, что она состоит из четырех подсистем: управление стрелками ГАЦ, автоматического управления замедлителями интервальной тормозной позиции, контроль свободности пути и автоматическое управление парковыми замедлителями. Расформирование может производиться как в программном, так и в маршрутном режиме.

Существующие системы ГАЦ релейного типа и элементы напольного оборудования периодически выходят из работоспособного состояния, но проанализировав случаи схода вагонов видно, что не они являются причинами схода вагонов. Первостепенная задача для исключения данных случаев заключается в исключении человеческого вмешательства в процесс сортировки и увеличение систем автоматизации на сортировочных горках.

Внедрение современных систем автоматики не только решит существующие проблемы, но и обеспечит устойчивое функционирование сортировочных станций при увеличении объёмов грузоперевозок. Это достигается за счёт повышения точности и оперативности управления, что, в свою очередь, способствует повышению общей эффективности сортировочного процесса и снижению эксплуатационных затрат.

Для решения проблемы схода вагонов необходимо проводить различные исследования и мероприятия:

– анализ статистических данных и инцидентов, включая изучение причин и обстоятельств каждого случая;

- исследование человеческого фактора, которое включает в себя проведение психологических и эргономических исследований для выявления факторов, влияющих на принятие решений операторами горочно-го поста;
- моделирование и симуляция процессов роспуска вагонов для тестирования различных сценариев роспуска вагонов и оценки эффективности различных стратегий управления вагонными замедлителями;
- оценка эффективности существующих систем управления вагонными замедлителями, проведение испытаний и тестирования существующих систем управления для выявления возможных недостатков и разработки предложений по их улучшению, исследование влияния технических характеристик вагонных замедлителей на безопасность роспуска:
- проведение тренингов и обучающих программ для операторов горочно-го поста, разработка и проведение обучающих программ, направленных на повышение квалификации и уровня подготовки операторов, увеличение периодичности и качество проведения технической учебы операторов;
- исследование влияния уровня автоматизации систем управления на человеческий фактор;
- внедрение современных систем автоматизации для исключения человеческого фактора.

Библиографический список

1. Бессоненко, С. А. Корректировка продольного профиля путей подгорочного парка на основе оценки скорости движения отцепов / С. А. Бессоненко, А. А. Климов. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 5 (72). – С. 58–64. – DOI 10.52170/1815-9265_2024_72_58.
2. Хорошев, В. В. Повышение отказоустойчивости устройств автоматического роспуска составов на железнодорожных сортировочных горках с помощью непрерывного мониторинга / В. В. Хорошев. – Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. – 2018. – № 3, том 4.
3. Туранов, Х. Т. О подходе к определению некоторых кинематических параметров движения вагона на тормозных позициях сортировочных горок / Х. Т. Туранов, А. А. Гордиенко, Ш. У. Саидивалиев. – Текст : непосредственный // International Journal of Advanced Studies : журнал. – 2018.
4. Ситников, С. А. Влияние скорости и направления встречного ветра на удельное сопротивление движению вагона при скатывании с сортировочной горки / С. А. Ситников, Ю. М. Гарифуллина // Между-

народный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 4-3 (79). – С. 121–125 // НЭБ eLIBRARY. – Текст : электронный.

5. Козаченко, Д. М. Исследование требований к системам прицельного регулирования скорости скатывания отцепов при автоматизации расформирования составов / Д. М. Козаченко. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2010.

6. Жмуданов, И. Н. Микропроцессорная система автоматизации сортировочных горок ГАЦ-АРС / И. Н. Жмуданов, В. Г. Гуменников, С. С. Кравченко – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 9. – С. 12-13.

7. Маслюкова, Ю. В. Анализ условий использования точечных вагонных замедлителей на горках большой мощности / Ю. В. Маслюкова, С. В. Карасев. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1 (56).

8. Джаббаров, Ш. О динамике скольжения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки / Ш. Джаббаров. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации. – 2019. – № 3.

9. Сергеев, Д. А. Колебания вагонов на тормозной позиции сортировочной горки / Д. А. Сергеев, А. Д. Сергеев, П. Л. Гаврилов. – Текст : непосредственный // Наука и прогресс транспорта / Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2009.

10. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики по итогам 2019 года / Управление автоматики и телемеханики ЦДИ, 2020. – 101 с. – Текст : непосредственный.

11. Ространснадзор – федеральная служба по надзору в сфере транспорта : сайт. – URL : <https://rostransnadzor.gov.ru/> [дата обращения: 18.03.2025]. – Текст : электронный.

12. СЦБИСТ – железнодорожный форум, блоги, фотогалерея, социальная сеть : сайт / Раздел «Нарушение безопасности на сети дорог». – URL : http://scbist.com/tags/%F1%F5%EE%E4_%ED%E0_%E3%EE%F0%EA%E5.html [дата обращения: 18.03.2025]. – Текст : электронный.

13. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики по итогам 2024 года / Управление автоматики и телемеханики ЦДИ, 2025. – 69 с. – Текст : непосредственный.

**РАЗДЕЛ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК И УПРАВЛЕНИЕ
ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ.
ГРУЗОВАЯ И КОММЕРЧЕСКАЯ РАБОТА**

В. С. Блохин, М. К. Стадник

*Уральский государственный институт путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия*

**К ВОПРОСУ О ПРАВОВОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ТРУДА
ПРОВОДНИКОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

В статье затронуты правовые аспекты трудовой деятельности проводников пассажирских вагонов. Наряду с распространённостью представителей данной профессии, отмечается факт немногочисленности научных публикаций, рассматривающих вопросы правового регулирования труда данной категории работников. В основном исследователи обращаются к изучению вредных производственных факторов и состоянию здоровья проводников. Показана специфика профессии через выделение групп должностных обязанностей проводника, закреплённых в документах. Приведены актуальные нормативные правовые акты, регулирующие отдельные аспекты труда проводников.

Ключевые слова: ОАО «РЖД», АО «ФПК», проводник пассажирского вагона, стандарт обслуживания, материальная ответственность, должностные обязанности.

Каждый, кто хотя бы раз совершал поездку на поезде, имел возможность наблюдать за выполнением трудовых обязанностей проводника в вагоне. Рассмотрим особенности правового регулирования деятельности представителей данной профессии.

Труд проводника пассажирского вагона представляет собой довольно интересный объект для правового исследования, т. к. регулируется, во-первых, общим трудовым законодательством (нормами ТК РФ), во-вторых, отраслевыми нормативными правовыми актами (ФЗ-17 от 10.01.2003 «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации», ФЗ-18 от 10.01.2003 «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации», ФЗ-16 от 09.02.2007 «О транспортной безопасности», постановление Правительства РФ от 27.05.2021 № 810, утвердившее Правила оказания услуг по перевозкам на железнодорожном транспорте пассажиров, грузов, багажа и грузобагажа для личных, семейных

и домашних нужд) и, наконец, корпоративными стандартами. К последней группе относятся документы, разработанные и утвержденные компанией-работодателем (ОАО «РЖД», а также АО «ФПК») – это Коллективный договор ОАО «РЖД», правила внутреннего трудового распорядка, положение об оплате труда, инструкции по охране труда и технике безопасности, пожарной безопасности, санитарным нормам, эксплуатации оборудования, оказанию первой помощи пассажирам, должностная инструкция проводника пассажирского вагона, стандарт обслуживания.

В то же время анализ научной литературы по избранной нами теме показывает, что публикаций, посвященных вопросам правового регулирования и статуса проводников пассажирских вагонов, немного. В студенческой публикации И. А. Шулунова и Ц. Б. Чимитовой проводники включены в общую группу работников железнодорожного транспорта, работа которых непосредственно связана с движением поездов. Исследователи верно указывают на специфику трудовых отношений, указывая на то, что трудовая деятельность таких работников проходит в пути в так называемых «турах», которые рассматриваются как особые учетные периоды рабочего времени [1]. Установлено, что в основном исследователи обращаются к выявлению проблем, связанных с влиянием на проводника пассажирского вагона вредных условий труда [2, 3, 4], анализу состояния здоровья и динамике заболеваемости среди проводников [5, 6].

Итак, обратимся к вопросу о юридическом регулировании трудовой деятельности проводника, обобщая требования, имеющиеся в настоящее время в нормативных документах. Интерес к данной тематике имеет и практическое значение: в ходе преподавания дисциплины «Правовое обеспечение профессиональной деятельности» в аудитории на одном из практических (семинарских) занятий студентам предоставляется возможность выступления с рассказом об особенностях правового регулирования труда проводников, т. к. во время летних каникул часть студентов работает в молодежных отрядах проводников. Приобретая опыт в данной профессии, студенты осознанно относятся к деятельности проводника и видят его зоны ответственности. Студенты-проводники понимают необходимость соблюдения правил, установленных действующим законодательством, потому что от них зависит как безопасность работы, так и качество обслуживания пассажиров.

Особенности труда проводников обусловлены его специфическим характером – разъездным, связанным с работой в пути. В связи с тем, что проводник испытывает значительные физические и эмоциональные (например, работа в ночное время) нагрузки, работать в данной профессии разрешается только с 18 лет. При поступлении на работу проводник должен пройти обязательный медицинский осмотр.

Перед тем, как приступить к своим профессиональным обязанностям, проводник должен пройти обучение и по его результатам обязан знать общие подходы к устройству и эксплуатации систем вагона (отопления, кондиционирования, пожарной сигнализации, электрооборудования), правила технической эксплуатации железных дорог РФ, правила оказания услуг по перевозке пассажиров, грузов и багажа, инструкции по обеспечению пожарной безопасности и санитарных правила.

Как и любой работник в России, проводники пассажирских вагонов обладают всем спектром прав, закрепленных в ст. 21 ТК РФ. Однако некоторые из них заслуживают отдельного внимания в силу особенностей профессии:

- право на своевременную и в полном размере оплату труда. Для проводника это означает получение не только оклада, но и многочисленных доплат: за работу в ночное время, в выходные и праздничные дни, за разъездной характер труда, за классность, за обслуживание вагонов повышенной комфортности (СВ, купе);

- право на отдых. Реализация этого права для проводника носит особенный характер ввиду суммированного учета рабочего времени. Проводник имеет право на межрейсовый отдых, продолжительность которого строго регламентирована локальными актами;

- право на безопасные условия труда. Работодатель обязан обеспечить проводника исправным оборудованием, средствами пожаротушения, аптечкой и инструктажами по безопасности. Это право в свою очередь напрямую связано с обеспечением безопасности для пассажиров и созданием для них комфортных условий во время поездки;

- право на компенсацию расходов, связанных с исполнением трудовых обязанностей, – например, получение суточных за время нахождения в рейсе, компенсация за износ собственного инструмента (если это предусмотрено);

- право на полную и достоверную информацию об условиях труда. Перед каждым рейсом проводник должен быть ознакомлен с маршрутом, графиком, особыми указаниями на рейс.

Обязанности проводника детализированы в его должностной инструкции – основном локальном нормативном правовом акте, который разрабатывается на основе Единого тарифно-квалификационного справочника (ЕТКС) и профессиональном стандарте «Проводник пассажирского вагона», действующем в настоящее время – с 01.09.2024 г. по 01.09.2030 г. [7]. Согласно требованиям профстандарта, в основе трудовой функции проводника лежит комплекс работ, связанных с приемкой (сдачей) пассажирского вагона в парке отстоя вагонов и обслужива-

нием пассажиров в поездах пригородного сообщения или дальнего следования.

На наш взгляд, комплекс обязанностей проводника, вытекающих из трудовой функции, можно разделить на следующие ключевые блоки:

1. Приемка пассажирского вагона в парке отстоя вагонов. Данное направление деятельности включает приемку инструмента, оборудования, инвентаря, сигнальных принадлежностей, служебной документации, подготовку вагона к предстоящему рейсу, контроль за исправностью систем вагона (отопления, кондиционирования, электроснабжения, освещения и др.) и исправностью замков, стоп-кранов, аварийных выходов, проверка санитарного состояния вагона, проверка салона, технических шкафов, ниш, топки котла, туалета и подвагонного оборудования на предмет нормального состояния и отсутствия подозрительных предметов, влажная уборка всех поверхностей, раскладка чистого постельного белья.

2. Обслуживание пассажиров, включающее встречу пассажиров у вагона, проверку их посадочных документов, размещение, помощь в размещении багажа, своевременное предоставление постельного белья, чайной продукции и продуктового набора (в зависимости от категории вагона и услуги), помощь маломобильным пассажирам, семьям с детьми и пожилым людям, информирование о правилах проезда, расписании, услугах, предоставляемых в вагоне, обеспечение чистоты и порядка в вагоне, сбор мусора, оказание первой помощи, содействие пассажирам с ограниченными возможностями, контроль за соблюдением пассажирами правил пожарной безопасности, проведение аварийно-спасательных работ в чрезвычайных ситуациях.

3. Содержание вагона в соответствии с требованиями (СанПиНами), включающее регулярную влажную уборку проходов, полок, столиков, поддержание чистоты в туалетах, смена мусорных пакетов, контроль за температурой и вентиляцией в салоне, за наличием питьевой воды, своевременное включение/выключение света, проветривание купе, обработка поверхностей дезинфицирующими средствами.

Необходимо отметить, что указанные обязанности детализированы в разработанном АО «ФПК» стандарте «Обслуживание пассажиров в поездах», устанавливающим единые требования к качеству обслуживания и предоставлению услуг в пассажирских поездах. В библиографическом списке стандарта помещен перечень иных актуальных нормативных правовых актов, которыми руководствуются в своей деятельности поездные бригады, – инструкции по организации движения поездов, по сигнализации на железнодорожном транспорте, СанПиНы, рекомендации по оказанию ситуационной помощи пассажирам из числа инвалидов и маломобильным пассажирам и др. [8].

Для проводников действует режим материальной ответственности. С 1 сентября 2025 г. действуют перечни должностей и работ, замещаемых или выполняемых работниками, с которыми работодатель может заключать письменные договоры о полной индивидуальной или коллективной (бригадной) материальной ответственности, утвержденные приказом Минтруда РФ от 16 апреля 2025 г. № 251н [9]. В этих перечнях, как и ранее (в частности, в перечнях, утвержденных постановлением Минтруда РФ от 31.12.2002 № 85), проводники пассажирских вагонов не указаны, однако упомянуты «другие работники, осуществляющие получение, заготовку, хранение, учет, выдачу, транспортировку материальных ценностей». Поскольку проводник от начальника поезда на основании специально установленных документов (актов приема-передачи, расписок) получает товарные ценности (постельные принадлежности, чайная и иная продукция, инвентарь, оборудование, инструменты), следовательно, он несет за них материальную ответственность. Любая недостача или порча указанного имущества может быть возмещена за счет проводника, что возлагает на него значительное бремя и требует высокой дисциплины.

Характеризуя должностные обязанности, следует добавить о необходимости ведения проводником документооборота и отчетности, включая контроль проездных документов, корректный учет и отчетность по продаже чайной продукции, постельного белья, сувениров, ведение записей о рейсе, происшествиях, составление актов-приема-передачи материальных ценностей и т. д.

Указанный выше стандарт «Обслуживание пассажиров в поездах» регламентирует внешний вид проводника (наличие чистой отглаженной формы установленного образца, обязательное ношение служебного удостоверения или бейджа с указанием имени и должности, опрятный внешний вид, аккуратная прическа, минимальное использование парфюмерии), задает правила поведения, направленные на поддержание вежливого, корректного общения с пассажирами, соблюдение профессиональной этики, эмоциональной сдержанности, грамотное профессиональное разрешение конфликтных ситуаций.

Режим труда и отдыха проводника основан на суммированном учете рабочего времени (ст. 104 ТК РФ). Рабочее время в поездке устанавливается графиками сменности. Общая продолжительность рабочей недели не должна превышать 40 часов в среднем за учетный период (месяц, квартал). Продолжительность ежедневной работы между периодами отдыха (межрейсовый отдых) должна быть не менее 12 часов.

Система оплаты труда проводника является сложной и состоит из нескольких частей: 1) тарифная ставка (оклад), которая устанавлива-

ется в зависимости от разряда и стажа, 2) доплаты и надбавки – например, за категорию вагона (обслуживание вагонов СВ, купе или люкс оплачивается выше, чем обслуживание плацкарта), за разъездной характер работы, за работу в ночное время (согласно ст. 154 ТК РФ, каждый час работы в ночное время (с 22:00 до 06:00) оплачивается в повышенном размере по сравнению с работой в нормальных условиях) и 3) выплаты стимулирующего характера – премии за высокое качество обслуживания, безаварийную работу, отсутствие жалоб.

Стоимость одного рабочего часа рассчитывается исходя из месячной нормы часов и оклада. Однако из-за сложной системы доплат «чистая» стоимость часа является плавающей величиной. Например, час работы в ночную смену в вагоне СВ будет стоить значительно дороже, чем дневной час в плацкарте.

Среди проблем правового регулирования трудовой деятельности проводников стоит выделить, прежде всего, вопрос о переработках, которые систематически возникают из-за задержек поездов, оформления документов после рейса, времени, необходимого для подготовки вагона в рейс.

Имеются практические сложности и при учете времени отдыха. Например, фактически проводники нередко сталкиваются с ситуацией, при которой продолжительность рейса может достигать нескольких суток. При этом межрейсовый отдых может формально составлять 12–16 часов, но этого времени часто не хватает для полноценного восстановления, учитывая дорогу до дома и обратно. Кроме этого, проводник пассажирского вагона не всегда может в полном объеме использовать положенное ему время отдыха в том случае, если он вынужден обслуживать вагон один.

Таким образом, правовой статус проводника пассажирского вагона можно представить как баланс между жесткими требованиями к профессии и выполнением довольно большого спектра обязанностей, с одной стороны, и сложностью работы проводника в условиях постоянной мобильности и высочайшей ответственности. Эффективность правового регулирования деятельности напрямую влияет не только на защищенность самого проводника, но и на безопасность и комфорт вверенных ему пассажиров.

Библиографический список

1. Шулунов, И. А. Правовое регулирование рабочего времени и времени отдыха работников железнодорожного транспорта общего пользования, работа которых непосредственно связана с движением по-

ездов / И. А. Шулунов Ц. Б. Чимитова. – Текст : непосредственный // Уральский журнал правовых исследований. – 2019. – № 6. – С. 747–755.

2. Юдаева, О. С. Совершенствование системы обеспечения безопасных условий труда проводников пассажирских вагонов : дисс. ... д-ра технических наук / О. С. Юдаева. – Москва, 2015. – Текст : непосредственный.

3. Вильк, М. Ф. Анализ вредных производственных факторов на рабочем месте проводника пассажирского вагона / М. Ф. Вильк, О. С. Юдаева, В. А. Аксенов, В. М. Пономарев, В. И. Апатцев, Е. А. Сорокина, В. Б. Простомолотова, А. С. Козлов, Е. О. Латынин. – Текст : непосредственный // Анализ риска здоровью. – 2017. – № 4. – С. 97–107.

4. Копировский, К. М. Нарушение адаптационных процессов у проводников пассажирских вагонов / К. М. Копировский, Н. В. Делекторский, В. С. Кутовой. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 1998. – № 5. – С. 18–21.

5. Угренов, А. В. Показатели качества жизни у женщин-проводников пассажирских вагонов / А. В. Угренов, С. Е. Угренова. – Текст : непосредственный // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2021; 20(1S):1-118. – С. 86–87.

6. Угренов, А. В. Суточный профиль артериального давления у женщин-проводников пассажирских вагонов / А. В. Угренов, В. С. Таранец. – Текст : непосредственный // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2021;20(1S):1-118. – С. 87.

7. Профессиональный стандарт «Проводник пассажирского вагона» [утверждён приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 11.03.2024 № 101н]. – URL : <https://classinform.ru/profstandarty/17.013-provodnik-passazhirskogo-vagona.html> (дата обращения: 23.10.2025 г.). – Текст : электронный.

8. Стандарт АО «ФПК» СТО ФПК 1.05.006-2022 «Обслуживание пассажиров в поездах формирования акционерного общества «Федеральная пассажирская компания». Требования к качеству обслуживания. – Москва, 2022. – Текст : непосредственный.

9. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 16 апреля 2025 г. № 251н «Об утверждении перечней должностей и работ, замещаемых или выполняемых работниками, с которыми работодатель может заключать письменные договоры о полной индивидуальной или коллективной (бригадной) материальной ответственности, а также типовых форм договоров о полной материальной ответственности». – URL : <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=494974#h95> (дата обращения: 23.10.2025 г.). – Текст : электронный.

Н. В. Быкова, Э. А. Никитина

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

М. В. Белозерова

*Забайкальский ТЦФТО,
г. Чита, Россия*

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК НАЛИВНЫХ ГРУЗОВ В ТАНК-КОНТЕЙНЕРАХ КАК ОДНА ИЗ ФОРМ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ГРУЗОВОЙ РАБОТЫ

Статья посвящена исследованию организации перевозок наливных грузов с использованием танк-контейнеров. Рассматриваются ключевые преимущества данного вида транспортировки перед традиционными вагонами-цистернами. Производится расчёт провозной платы, позволяющий сравнить экономические показатели двух видов транспорта. Анализируется эффективность использования танк-контейнеров в современных условиях рынка грузоперевозок.

Ключевые слова: танк-контейнер, конструкция, грузовые операции, провозная плата, железная дорога.

Перевозки танк-контейнеров железнодорожным транспортом по России, являются звеном мультимодальной грузоперевозки между морским портом и автомобильным транспортом. На долю перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом приходится порядка 30 % от общего объема перевозок. Использование танк-контейнеров становится особенно важным в районах Крайнего Севера, где отсутствуют железные дороги, но интенсивно развиваются нефтегазовые проекты.

Танк-контейнеры представляют собой универсальные емкости, предназначенные для надежной транспортировки жидких веществ, химически агрессивных материалов и сжиженных газов, соответствующих классам опасности 2, 3, 5, 6, 8 и 9 согласно классификации ООН («Перечень опасных грузов») и российскому стандарту ГОСТ 19433-88.

Особенности конструкции танк-контейнера заключаются в том, что состоит из нескольких ключевых элементов, обеспечивающих безопасность и надежность перевозки жидких и газообразных грузов. Цистерна контейнера изготавливается из высокопрочной стали или нержавеющей стали. Она оснащена теплоизоляционным слоем для поддержания стабильной температуры груза. Внутренняя поверхность цистерны покрыта защитным антикоррозионным покрытием.

Система наполнения и слива состоит из верхнего и (или) нижнего загрузочного отверстия, которые снабжены герметичными крышками. Система клапанов обеспечивает безопасный забор и выгрузку жидкости или газа.

Рама – жесткая металлическая конструкция, обеспечивает устойчивость контейнера при транспортировке различными видами транспорта (железнодорожным, автомобильным, морским). Рама оборудована специальными креплениями для фиксации на транспортных средствах.

Дополнительными слоями изоляции для предотвращения повреждений корпуса при перевозке являются антиударные системы защиты углов и боковых поверхностей (рис. 1).



Рис. 1. Конструкция танк-контейнера

Структура российского рынка танк-контейнерных операторов осталась практически неизменной после февраля 2022 г., за исключением исключения одной крупной компании – UNICON 1520. Оператор прекратил свою деятельность, что стало единственным значимым изменением в отрасли.

В России наблюдается постепенное замещение традиционных цистерн на танк-контейнеры. Стандартный 20-футовый танк-контейнер представляет собой универсальную грузовую единицу, предназначенную для транспортировки жидких химических и пищевых товаров, а также сжиженных газов основными видами транспорта: автомобильным, железнодорожным и водным.

Использование танк-контейнеров существенно снижает затраты на логистику благодаря отсутствию необходимости перелива содержимого при смене вида транспорта, что уменьшает риски, экономит время

и сокращает расходы. Перспективы развития танк-контейнерных перевозок в России определяются рядом факторов, среди которых решающее значение имеет состояние химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей.

Объем парка танк-контейнеров в России с 2020 по 2024 г. вырос на 18,64 %, тогда как объем доставляемого груза за тот же период увеличился на 14,29 %. В 2022 г. наблюдается снижение объемов перевозимого груза, связанное с изменениями в мировой политической ситуации и уходом ряда поставщиков из страны (рис. 2).

Эксперты подчеркивают, что увеличение спроса на танк-контейнеры в России связано с ростом объемов производства химической продукции и сжиженных газов, а также массовым выводом из эксплуатации устаревших вагонов-цистерн. Согласно прогнозам, в период с 2024 по 2026 гг. планируется вывести из обращения около 25 тысяч специализированных вагонов-цистерн, предназначенных для транспортировки нефтехимической продукции, причем в текущем году ожидается сокращение парка еще на 6,8 тысячи единиц.

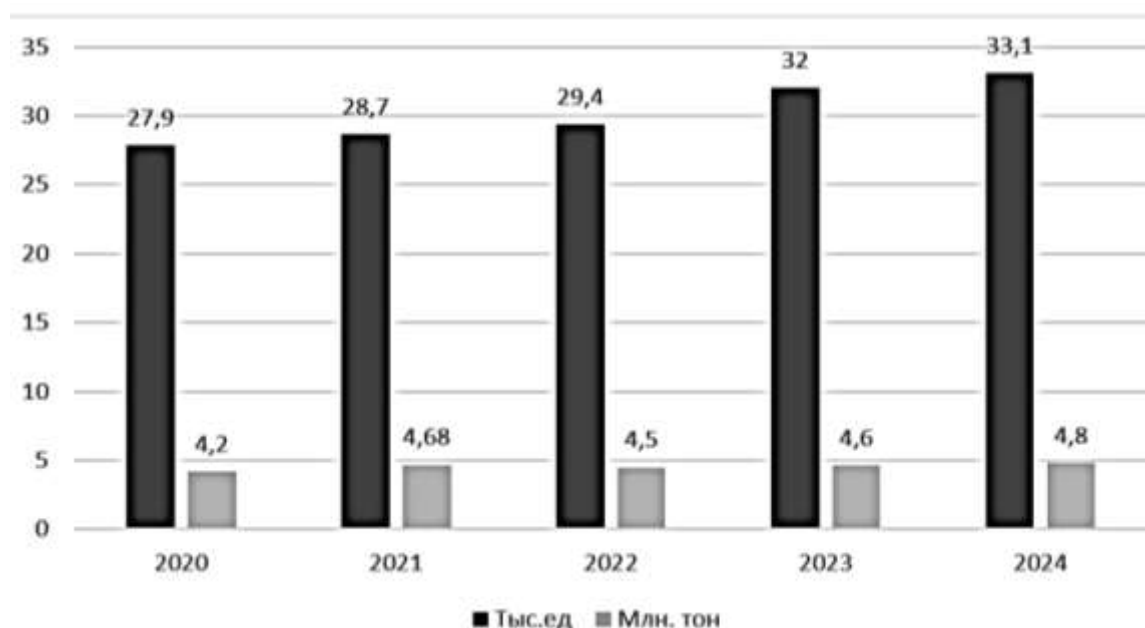


Рис. 2. Динамика Российского парка танк-контейнеров

Танк-контейнеры используются для транспортировки жидких, сжиженных и некоторых сыпучих грузов. Международная классификация IMO определяет типы контейнеров в зависимости от категории транспортируемых грузов:

а) ИМО 0. Предназначены для перевозки неопасных пищевых продуктов, таких как молоко, минеральные воды, растительные масла и фруктовые соки. Объем колеблется от 20 до 30 тысяч литров, стенки толщиной 2 мм. Допускают дополнительное оснащение термоизоляцией и системой подогрева паром;

б) ИМО 1. Применяются для транспортировки всех типов химических наливных грузов. Емкости варьируются от 14 до 30 тысяч литров, толщина стенок – от 4 до 7 мм. Рабочее давление варьируется от 2,65 до 6 атмосфер. Возможна установка теплоизолирующего слоя, парового и электрического подогрева;

в) ИМО 2. Рассчитаны на широкий спектр пищевых продуктов, включая продукцию, отнесенную к классу опасности, а также химические вещества, допускающие нижний слив. Объем – от 21 до 30 тысяч литров, толщина стенок – от 3 до 4 мм. Давление в колбе – от 1,75 до 3 атмосфер. Возможно оборудование теплоизоляцией, паровым и электрическим подогревом;

г) танк-контейнер ИМО 5 (T50). Специализирован для транспортировки сжиженного и сжатого газа, требующего строгих условий перевозки.

д) танк-контейнер T14. Используется для транспортировки и кратковременного хранения жидких грузов классов опасности 3, 5.1, 6.1, 8 и 9, разрешенных международными правилами ООН (UN T1–UN T14). Отличительной особенностью является отсутствие нижнего слива, загрузка и разгрузка осуществляются исключительно через верхний люк. Колба выполнена из нержавеющей стали с антикоррозионными примесями, поскольку часто используется для перевозки концентрированных кислот и щелочей. Рабочее давление достигает 4 бар, максимальная масса брутто – 36 тонн;

Благодаря прочной конструкции танк-контейнеров, содержимое защищено от внешних воздействий, что снижает риск утечек и повреждений. В 2020 г. на Забайкальской железной дороге произошла авария с участием танк-контейнеров. Танк-контейнеры пролетели более 20 м. В то время как платформы, которые их везли, пошли под списание, а тара оказалась ремонт способной. Но главное, что не произошло утечки продукта.

Рассматривая преимущества применения танк-контейнеров, следует отметить, что экономия затрат на транспортировку грузов в сравнении с использованием вагонов-цистерн обеспечивается за счёт текущих различий в ставках, установленных Прейскурантом № 10-01. Маршрут следования танк-контейнера частично осуществляется по железнодорожному пути, далее он перегружается на автомобильный транспорт и доставляется непосредственно грузополучателю. Штабелирование танк-

контейнеров позволяет эффективно использовать пространство на морских судах, складах и платформах, повышая безопасность и удобство при перевозке и хранении жидких грузов, в связи с наличием унифицированной рамной конструкции. Среди прочих достоинств выделяются возможности мультимодальных перевозок, уменьшение количества операций по переливу груза из одной тары в другую, повышение уровня безопасности, а также способность обеспечивать хранение и перемещение опасных грузов.

В качестве примера произведён расчет провозной платы для транспортировки 60 т моторного бензина из Красноярскa в Читy (расстояние перевозки – 2098 км), используя два типа транспортных ёмкостей – танк-контейнер и железнодорожную цистерну.

Расчет тарифа для вагона-цистерны определяется по формуле (1) :

$$T = И \times k_1 \times k_2 \times q , \quad (1)$$

где И – плата за инфраструктуру;

k_1 – коэффициент для груза;

k_2 – коэффициент из приказа ФАС 1226/14.

Тариф для вагона-цистерны составит

$$T = (390,8 + 11,33) \times 1,15 \times 7,984 \times 60 = 219\,046 \text{ руб.}$$

Следовательно, тариф для перевозки груза в цистерне составляет 219 046 руб. С учетом НДС – 43 809 руб. и сбора за ведомственную охрану – 13 716 руб., итоговая сумма – 276 571 руб.

Расчет тарифа для танк-контейнера определяется по формуле (2):

$$T = И \times k_1 \times k_2 \times k_3 , \quad (2)$$

где И – плата за инфраструктуру;

k_1 – коэффициент для собственного/арендованного контейнера;

k_2 – коэффициент при перевозке полного комплекта на вагон;

k_3 – коэффициент из приказа ФАС 1226/14.

Тариф для танк-контейнера:

$$T = 15038,9 \times 0,85 \times 0,76 \times 7,3119 = 10\,286 \text{ руб.}$$

Следовательно, тариф для перевозки груза в вагоне цистерне составляет 219 046 руб. С учетом НДС – 12 150 руб. и сбора за ведомственную охрану – 11 488 руб., провозная плата для перевозки моторного бензина в 1 контейнере-цистерне составляет 276 571 руб.

Для перевозки 60 т моторного бензина потребуется 2 танк-контейнера, следовательно общая сумма провозной платы с НДС составит 168 776 руб.

Итак, разница в стоимости перевозки моторного бензина в танк-контейнере и цистерне составила 107 577 руб.

Одним из критериев выбора варианта доставки груза является срок доставки. Танк-контейнер имеет срок доставки на 8 дней дольше, чем цистерна.

Стоимость перевозки груза в танк-контейнере устанавливается за каждую единицу подвижного состава, независимо от фактического веса груза внутри танк-контейнера. В отличие от танк-контейнеров, стоимость перевозки в цистернах зависит от массы перевозимого груза. Таким образом, основной подход к тарификации различается: для танк-контейнеров важна единица подвижного состава, а для цистерн – вес перевозимого груза.

Подводя итог, можно отметить, что использование танк-контейнеров снижает затраты на логистику благодаря отсутствию необходимости перелива содержимого при смене вида транспорта; экономии расходов на оплату провозных сумм, что имеет существенные преимущества для пользователей данных услуг.

Библиографический список

1. Журавлёв, Н. П. Транспортно-грузовые комплексы : учебное пособие / Н. П. Журавлёв, О. Б. Маликов. – Москва : Маршрут, 2006. – 232 с. – Текст : непосредственный.
2. Малихина, О. В. Логистические аспекты развития танк-контейнерного рынка в Российской Федерации / О. В. Малихина, А. Н. Назарова. – Текст : непосредственный // cyberleninka. – 2021. – № 2. – С. 4–7.
3. Прейскурант № 1 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые «Российскими железными дорогами» от 17.06.2003 № 4882 с изменениями и дополнениями в редакции от 07.06.2023. – Текст : непосредственный.
4. Статистическая справка перевозок грузов в танк-контейнерах по сети ОАО «РЖД» в июне 2023 г. // tankcontainerworld. – URL : <https://tankcontainerworld.ru/analytics/statisticheskaya-spravka-po-perevozkam-gruzov-v-tank-kontejnerah-po-seti-oao-rzhd-v-iyune-2023-goda/> (дата обращения 04.04.2025). – Текст : непосредственный.
5. Танки переходят в наступление // Транспорт России. – 2024. – 09.12. – С. 4. – Текст : непосредственный.

Н. В. Быкова

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

А. А. Никитина

*Механизированная дистанция погрузочно-разгрузочных работ,
пограничная перегрузочная станция Забайкальск, Россия*

НЕОБХОДИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ПОЭЛЕМЕНТНОГО ПРОСТОЯ ИНОСТРАННЫХ ВАГОНОВ НА ПОГРАНИЧНОЙ СТАНЦИИ

Автоматизированная система учёта поэлементного простоя иностранных грузовых вагонов колеи 1435 мм в процессе перегрузки и выгрузки импортных грузов (далее УППВ) на станции Забайкальск требует доработки для достижения более слаженного взаимодействия и эффективной координации действий всех участников технологического процесса. Технологический расчёт поэлементного простоя вагонов КНР в разных структурных подразделениях ОАО «РЖД» ведётся только в своих границах, без учёта смежных подразделений и это является недостатком в выявлении виновных в сверхнормативных простоях.

Ключевые слова: поэлементный простой вагонов, вагоны колеи 1435 мм, Межгосударственная передаточная станция, пропускная способность, Механизированная дистанция погрузочно-разгрузочных работ и коммерческих операций, Территориальный центр фирменного транспортного обслуживания, ПАО «ТрансКонтейнер».

В настоящее время станция Забайкальск обеспечивает передачу более половины всего объема перевозок грузов российско-китайской торговли, осуществляемой в прямом железнодорожном сообщении. Успешное выполнение задач по ускорению обработки подвижного состава работниками Межгосударственной передаточной станции Забайкальск, напрямую зависит от слаженного взаимодействия и эффективной координации действий всех участников технологического процесса, которыми являются: Территориальный центр фирменного транспортного обслуживания (ТЦФТО), ответственный за организацию перевозок, коммерческое сопровождение и взаимодействие с клиентами; Механизированная дистанция погрузочно-разгрузочных работ и коммерческих операций (МЧ-5) и контейнерный терминал филиала ПАО «ТрансКонтейнер», обеспечивающие выполнение грузовых операций с применением

механизированных комплексов, включая перевалку грузов между вагонами разной колеи.

Сокращение времени простоя вагонов колеи 1435 мм, представляет критически важный и часто дефицитный ресурс для международных перевозок и является комплексной задачей, требующей оптимизации всех этапов обработки состава на станции – от приема до отправления вагонов по вагонной ведомости. Эффективность совместной работы всех участников процесса напрямую влияет на пропускную способность станции, скорость доставки грузов и конкурентоспособность железнодорожного транзита через российско-китайскую границу.

Целью является выявление «узких» мест в учете поэлементного простоя грузовых вагонов колеи 1435 мм, возникающих при распределении сверхнормативного простоя по элементам между причастными подразделениями станции Забайкальск.

Анализируя ведение отчетности по простоям вагонов колеи 1435, выявлено:

1) ДС ведут в автоматизированной системе учета поэлементного простоя иностранных грузовых вагонов колеи 1435 мм в процессе перегрузки и выгрузки импортных грузов на станции Забайкальск;

2) АФТО согласно АС ПС справки 61 «Анализ простоя импортного груза от прибытия до отправления», справки 65 «Анализ среднего простоя груза» и отчета предоставляемого начальником станции Забайкальск;

3) МЧ ведет вручную в программе Excel.

На основании вышеизложенного, каждое подразделение фиксирует свои данные для учета простоя вагонов. В этой связи, постоянно выявляются отклонения и разные значения по данным, в части количества вагонов с отнесением ответственных, времени нахождения груза от приема вагонов по колее 1435 мм до отправления вагонов по колее 1520 мм.

Предложенная в данном материале методика установит мониторинг дислокации каждого вагона КЖД от момента приема с КЖД по ВВ до момента подписания ВВ с фиксацией всех технологических и временных отклонений технологического процесса работы станции от установленных нормативных значений с их отнесением за причастными подразделениями ОАО «РЖД», сторонними организациями и третьими лицами. Предлагается вести всем структурным подразделениям анализ простоя вагонов колеи 1435 мм в автоматизированной системе учета поэлементного простоя иностранных грузовых вагонов колеи 1435 мм в процессе перегрузки и выгрузки импортных грузов на станции Забайкальск. Для этого необходимо доработать программу:

– автоматизировано подгружать данные с АСУ СТ НП (ПС);

- добавить кнопки согласования всеми структурными подразделениями;

- добавить историю изменений при корректировке данных.

Методика анализа поэлементного простоя вагонов является основным документом, определяющим повышение контроля и принятия своевременных управленческих решений по сокращению простоев вагонов колеи 1435 мм на станции, а также минимизирующим валютные потери ОАО «РЖД». Автоматизированная система учета поэлементного простоя иностранных грузовых вагонов колеи 1435 мм в процессе перегрузки и выгрузки импортных грузов на станции (далее УППВ) требует доработки.

Разработка данной методики позволит исключить ручное ведение причастными подразделениями причин простоя вагонов колеи 1435 мм, формировать единые данные о простоях вагонов колеи 1435 мм с отражением истинных причин простоя вагонов.

Основными задачами методики являются:

- определение элементов технологического процесса, влияющих на простой вагонов;
- выявление наиболее значимых факторов, вызывающих простой;
- сбор и анализ данных о времени простоя вагонов на каждом элементе, в сопоставлении с нормативами простоя;
- формирование единого отчета по результатам анализа всех причастных подразделений.

Методика устанавливает ответственность за простой вагонов КЖД колеи 1435 мм (далее – вагоны) в процессе перегруза и выгрузки импортных грузов между причастными: Забайкальской дирекцией управления движением (далее – ДС Збк), Забайкальской дирекцией по управлению терминально-складским комплексом (далее – МЧ-5), ПАО «Трансконтейнер», Забайкальский территориальный центр фирменного транспортного обслуживания (далее ТЦФТО).

По прибытию вагона на станцию Забайкальск оплачиваемым считается простой с момента приёма груженого вагона по вагонной ведомости до сдачи в КНР данного вагона в порожнем состоянии по вагонной ведомости.

Распределение ответственности за простой вагона, прибывшего в адрес ПАО «Трансконтейнер», между причастными осуществляется следующим образом:

- а) ответственным за простой вагона от приёма вагона по вагонной ведомости до подачи вагона на грузовой фронт ПАО «Трансконтейнер» – является ДС Забайкальск;

б) ответственным за простой вагона от момента подачи вагона на грузовой фронт ПАО «Трансконтейнер» до подачи уведомления работником ПАО «Трансконтейнер» о завершении грузовой операции с вагоном – является ПАО «Трансконтейнер»;

в) ответственным за простой вагона от подачи уведомления работником ПАО «Трансконтейнер» о завершении грузовой операции работнику ДС Забайкальск до сдачи вагона КЖД по вагонной ведомости является – ДС Забайкальск.

Распределение ответственности за простой вагона, прибывшего на перегрузочное место МЧ-5, между причастными осуществляется следующим образом:

а) ответственным за простой вагона от приёма вагона по вагонной ведомости до подачи вагона на перегрузочное место МЧ-5 – является ДС Забайкальск (табл. 1);

б) ответственным за простой вагона от подачи вагона на перегрузочное место МЧ-5 до подачи заявки на уборку вагона – является МЧ-5 (табл. 2);

в) ответственным за простой вагона от подачи заявки на уборку вагона с перегрузочного места МЧ-5 до сдачи вагона КЖД по вагонной ведомости – является ДС.

В случае отсутствия на станции Забайкальск вагона колеи 1520 мм собственника (оператора) подвижного состава, заключившего с ОАО «РЖД» агентский договор на предоставление подвижного состава под перегруз импортных грузов, ответственность за простой вагона колеи 1435 мм несёт ТЦФТО.

Таблица 1

**Нормативы времени
на операции с грузовыми вагонами колеи 1435 мм**

В часах

№ п/п	Этап	Элемент простоя	Процесс	Норматив в элементе при норме	Норматив времени выполнения операции
1	2	3	4	5	6
1			Прибытие поезда		
2			Время простоя от прибытия до приема вагонов по ВВ		1,17

Продолжение табл. 1

В часах

1	2	3	4	5	6
3	Нахождение вагона на путях станции (парки «В», «Г», «Н») от приема по ВВ до подачи на ПМ (расформирование (сортировка), накопление и перестановка вагонов на ПМ)	Простой от приема по ВВ до подачи на ПМ	Ожидание перестановки в парк «Г»	11	1,8
4			Перестановка поезда в парк «Г»		0,23
5			Ожидание расформирования в парке «Г»		1,47
6			Расформирование в парке «Г»		2,85
7			Ожидание подачи вагонов на перегрузочные места ТК или перестановки в парк «Н»		0,89
8			Подача группы вагонов на пути ТК		1,3
9			Перестановка группы вагонов в парк «Н»		1,18
10			Ожидание расформирования в парке «Н»		1,5
11		Подача на ПМ	Подача группы вагонов из парка «Н» на ПМ парка «К»		1,08
12	Нахождение вагона под грузовой операцией на местах общего пользования (МОП), на путях необщего пользования (ПНП)	Простой под грузовыми операциями	Ожидание начала работ по освобождению вагона	18	2
13			Грузовые операции перегруза		16*
14		Простой в ожидании уборки с ПМ	Ожидание уборки вагонов с ПМ после перегруза на путях МЧ, ТК	6	6
15	Нахождение вагона на ПОП станции от уборки с МОП, ПНП до сдачи в КНР в порожнем состоянии по ВВ	Уборка вагонов с ПМ	Уборка вагонов с ПМ после перегруза на путях МЧ, ТК в парк «Н», «Г»	2	1
16			Ожидание перестановки из парка «Н» в парк «Г»		0,25
17			Перестановка вагонов из парка «Н» или путей ТК в парк «Г»		0,75

**РАЗДЕЛ 4. Организация перевозок и управление движением поездов.
Грузовая и коммерческая работа**

Окончание табл. 1

В часах

1	2	3	4	5	6
18		Простой от уборки с ПМ до отправления	Формирование состава, тех. и ком. осмотр в парке «Г»	8	1,36
19			Ожидание перестановки в парк «В»		0,25
20			Перестановка состава из парка «Г» в парк «В»		1,09
21			Сдача по ВВ		1,43
22			Ожидание отправления поезда		0,17
23			Уточняющее подписание (после возврата ВВ от КЖД)		4 мин. на ваг.

Таблица 2

**Нормативы простоя вагонов колес 1435 мм
по элементу «Грузовые операции перегруза»
в разрезе перегрузочных мест**

В часах

№ ПМ	Парк/ № пути	Назначение	Фронт, вагонов	Норма на перегруз всего фронта, ч.
1	2	3	4	5
Забайкальская механизированная дистанция погрузочно-разгрузочных работ и коммерческих операций (МЧ-5)				
1	«К»/15к	опасные грузы	5	10
2	«К»/17к	скоропортящиеся грузы, тарно-штучные грузы	10	10
3	«К»/19к	тарно-штучные грузы	18	10
4	«К»/21к	легковые автомобили	15	7
5	«К»/23к	колесная техника, тяжеловесные грузы	10	45
6	«К»/25к	грузы в контейнерах	31	10
8	«К»/29к	длинномерные и тяжеловесные грузы	35	53
ПАО «Трансконтейнер»				
КТ1	КТ1/ 701, 702, 703	грузы в контейнерах	78, 78 84	6,8
КТ2	КТ2/ 115, 118	длинномерные и тяжеловесные грузы	44 42	19,1

На основании распоряжения № 3136/р от 8 декабря 2024 г. «Об установлении нормативов времени обработки грузовых вагонов иностранных железных дорог колеи 1435 мм и отнесении ответственности за их соблюдение» установлена норма 45 часов на вагон колеи 1435 мм (табл. 1)

Таблица 3

Классификатор причин задержки вагонов колеи 1435 мм

№ п/п	Причина	Ответственность	Примечание
1	2	3	4
1	Отсутствие вагонного листа	ДС	Вагон подан на путь перегрузочного места без вагонного листа (отсутствует информация о грузе, количество, масса)
2	Не подан под кран вагон РФ	ДС	Вагон находится не в зоне работы крана
3	Не подан под кран вагон КЖД	ДС	Вагон находится не в зоне работы крана
4	Задержан гос. органом	Экспедитор, грузоотправитель	Вагон задержан контрольными органами
5	Метеоусловия	Прочие	Скорость ветра или показания температуры выше предельных значений допустимых для крана. В случаях снегопада, дождя, тумана, когда сигналы стропальщика плохо различимы крановщиком. Погодные условия (снег, дождь) не позволяют производить перегрузку тарно-штучных грузов, т. к. приводят к его порче
6	Ваг РФ не по фронту	ДС	Вагон РФ подан на путь не по фронту погрузки-выгрузки
7	Ваг КЖД не по фронту	ДС	Вагон КЖД подан на путь не по фронту погрузки-выгрузки
8	Недовыгруз МЧ–5	МЧ	Не успели перегрузить вагон до окончания смены (большие временные и трудозатраты на перегрузку груза)
9	Неисправность ваг РФ (ком)	ДС	Подан на путь вагон РФ не годный в коммерческом отношении

**РАЗДЕЛ 4. Организация перевозок и управление движением поездов.
Грузовая и коммерческая работа**

Продолжение табл. 3

1	2	3	4
10	Неисправность ваг РФ (тех ДС)	ДС	Подан на путь вагон РФ не годный в техническом отношении (по книге ВУ–14 неисправен, либо неосмотренный)
11	Возврат, выяснение Крытый подвижной состав	Экспедитор грузоотправитель	Крытые вагоны прибыли с нарушениями упаковки, с повреждением тары и т. д.
12	Возврат, выяснение Открытый подвижной состав	ДС	Вагоны открытого типа прибыли с нарушениями упаковки, с повреждением тары и т. д.
13	Отсутствует электроэнергия	прочее	Отсутствует электроэнергия
14	Неисправность крана	МЧ	Неисправность крана
15	Подан вагон ПАО «ТрансКонтейнер»	ДС	Подан вагон, прибывший в адрес ПАО «ТрансКонтейнер»
16	Занят фронт ранее поданными вагонами	ДС	Занят фронт ранее поданными вагонами
17	Не разработано НТУ, эскиз	Экспедитор, грузоотправитель	Не разработаны Технические условия размещения и крепления грузов и эскизы
18	Поздняя подача вагона КНР, РФ	ДС	Подача вагонов до окончания смены работников МЧ менее временного норматива, установленного для перегруза этой номенклатуры груза
19	Отсутствие вагона РФ на станции	АФТО	На станции отсутствуют вагоны РФ для перегруза
20	В ожидании перегруза	МЧ	Вагон простаивает в ожидании очереди перегруза согласно дате приема груза по вагонной ведомости
21	Не обеспечен вагоном РФ с петлями	ДС	Не подан под перегруз вагон с петлями
22	Не обеспечен вагоном РФ под опасный груз	ДС	Не подан под перегруз вагон для перегрузки опасного груза
23	Не обеспечен вагоном под продукты	ДС	Не подан под перегруз вагон для перегрузки продуктов
24	Не обеспечен платформой с деревянным полом	ДС	Не подана под перегруз платформа с деревянным полом

Окончание табл. 3

1	2	3	4
25	Не обеспечен платформой	ДС	Не подана под перегруз платформа
26	Не обеспечен полувагоном	ДС	Не подан под перегруз полувагон
27	Не обеспечен крытым вагоном	ДС	Не подан под перегруз крытый вагон
28	Перестановка на другое перегрузочное место	ДС	Необходима перестановка вагона на другое перегрузочное место (под кран для тяжеловесных грузов, под исправный кран и т. д.)
29	Не принят с возврата	ДС	Не внесены изменения (не проведена корректировка) в документы, не промаркирован груз и т. д.
30	Не обеспечен по прямому варианту	ДС	Не обеспечен прямой вариант перегруза
31	Вагон не годен под груз (мешки)	ДС	Крытый вагон не годен по причине наличия выступающих частей, которые могут повредить груз

Норма времени выполнения элемента «от приема вагона повагонной ведомости до подачи вагона на перегрузочное место» составляет 11,0 часов, ответственным подразделением является ДС Забайкальск.

Информация по прибытию, приему вагонов по вагонной ведомости в отчетные формы АСУ СТ НП (ПС) вносятся работниками станции, данная информация автоматически передается в УППВ.

В случае возникновения ситуации (табл. 3) по неподаче вагонов на перегрузочные места, классифицирующиеся на ответственность ТК/МЧ, работниками станции составляется акт общей формы (с указанием перегрузочного места; номера железнодорожного пути; количества вагонов по номерам; даты, время начала простоя в ожидание подачи на путь, причину неподачи вагонов). Акты общей формы подписываются работником ТК/МЧ Забайкальск с применением ПРЭП (сменным приемосдатчиком, закрепленным за определенным перегрузочным местом).

Начало простоя вагонов по данной причине исчисляется от времени составления акта общей формы. В случае неподачи вагонов колеи 1435 мм, при свободности перегрузочных мест, работники станции оформляют акты общей формы с указанием причины неподачи вагонов относящихся согласно классификатору на ответственность начальника станции.

Акты общей формы составляются в действующем программном обеспечении ЕАСАПР М НП, и служит контролем вводимой информации в АСУ СТ НП (ПС) о дате и времени подачи вагонов на перегрузочные места работниками станции. Далее данная информация передается в УППВ.

Норма времени выполнения элемента «простой под грузовыми операциями» составляет 18 часов и включает в себя время от подачи вагона на перегрузочное место до уведомления о завершения грузовой операции.

Подача и расстановка вагонов по фронту работ (в пределах работы козловых кранов) на перегрузочных местах груженных вагонов колеи 1435 мм, порожних вагонов колеи 1520 мм осуществляется в круглосуточном режиме, по необходимости дополнительно по заявке от ТК/МЧ (координируется дежурными ТК/МЧ станции с агентом станции, маневровым диспетчером).

Расстановка вагонов колеи 1435 мм и 1520 мм по фронту осуществляется друг напротив друга, для обеспечения перегрузки по прямому варианту «вагон-вагон», с обеспечением условий безопасного производства работ.

Факт подачи и расстановки вагонов на перегрузочных местах по фронтам осматривается совместно работником ТК/МЧ Забайкальск с работником станции путем натурного осмотра, с дальнейшим оформлением акта общей формы с подписанием работниками обеих сторон.

В акте общей формы указывается:

- перегрузочное место;
- номера вагонов указываются по порядку расстановки (с пометкой восток/запад) отдельно по каждому железнодорожному пути перегрузочного места;
- состояние каждого вагона согласно классификатору причин;
- ответственное подразделение за простой вагона.

Начало простоя вагонов по данным причинам исчисляется от времени подачи вагона колеи 1435 мм на перегрузочное место, либо от времени наступления события, согласно составленного акта общей формы работниками МЧ, служит контролем вводимой информации в АСУ СТ НП (ПС). Далее данная информация подтягивается в УППВ.

Простой вагонов колеи 1435 мм от времени подачи на перегрузочное место в пределах фронта работ, при наличии документов, обеспечении порожним подвижным составом, без выявленных каких-либо нарушений СМГС к дальнейшей транспортировки груза до 02–00 мск. времени относится на прочие причины (кроме вагонов с грузом контейнера).

После 02–00 мск. ответственность относится на МЧ. При этом в отчетных формах АСУ ПС работником МЧ заносится информация начало освобождения вагона, окончание освобождения вагона, уведомление о завершении грузовой операции (заявка на уборку порожнего вагона).

Норма времени выполнения элемента «от уведомления о завершении грузовой операции до сдачи вагонов по вагонной ведомости» составляет 16,0 часов. Ответственным подразделением за простой вагона колеи 1435 мм является ДС.

Ответственные работники ТК/МЧ/ДС за формирование расчета простоя вагонов еженедельно производят сверку в программном обеспечении УППВ о полноте и правильности вносимой информации с корректировкой данных после согласования всех участников процесса. Ежемесячно до 5 числа месяца следующего за отчетным в программном обеспечении УППВ отчетная форма анализа утверждается руководителями подразделений.

Библиографический список

1. Договор о «Правилах пользования грузовыми вагонами в международном сообщении» (ПГВ) от 01.05.2008 (с изм. и доп. на 01.07.2017). – 156 с. – Текст : непосредственный.
2. Методика учёта поэлементного простоя иностранных грузовых вагонов колеи 1435 мм в процессе перегрузки и выгрузки импортных грузов на станции Забайкальск Забайкальской железной дороги № Заб-81/р от 09.02.2024. – 31 с. – Текст : непосредственный.
3. Порядок отнесения ответственности за простой вагона Китайских железных дорог колеи 1435 мм в процессе перегруза и выгрузки импортных грузов на станции Забайкальск между причастными № Заб103/р от 12.02.2019 г. – 25 с. – Текст : непосредственный.
4. Технологический процесс работы Забайкальской механизированной дистанции погрузочно-разгрузочных работ и коммерческих операций. – 2023. – 50 с. – Текст : непосредственный.
5. Технологический процесс работы грузовой межгосударственной передаточной станции Забайкальск – филиала ОАО «РЖД». – 2023. – Текст : непосредственный.

Н. В. Власова

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОАО «РЖД» ЗАПАДНОЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

В научной статье автором проведён анализ транспортно-логистической инфраструктуры ОАО «РЖД» западноевропейской части России. Исследуются процессы модернизации транспортно-логистической инфраструктуры с акцентом на развития транспортно-логистических центров. В западноевропейской части России складская инфраструктура значительно отличается масштабом и уровнем автоматизации, особенно в таких регионах как Московская область, Санкт-Петербургская и Ленинградская области, Самарской и других областях, своей развитой сетью грузопотоков с применением мультимодальной перевозки. Автором проанализированы ТЛЦ и сделаны заключения по их развитию с целью выполнения функций распределительных центров, аккумулярования крупных транспортных потоков с их последующим перенаправлением в иные регионы Российской Федерации.

Ключевые слова: транспортно-логистическая инфраструктура, транспортно-логистический центр, железнодорожный узел, станция, порт, мультимодальный логистический центр, контейнерный терминал, погрузо-разгрузочные работы.

Введение

В соответствии с прогнозом социально-экономического развития Российской Федерации, включающим показатели Валового внутреннего продукта (далее – ВВП) и объёмы промышленного производства, с применением сценарного моделирования Министерства экономического развития Российской Федерации, прогнозов инфляции, роста цен в промышленности и других секторах экономики, предполагается рост торговли между западными и азиатскими странами, что ускорит рост мировой экономики. Отрицательное воздействие санкций на российскую экономику сохранится, но останутся возможности перераспределения поставок сырья на развивающиеся рынки на дисконтируемых условиях. Реализация базового сценария позволит эволюционно развивать транспортно-логистический блок холдинга «РЖД» и создаст предпосылки для дальнейшего развития инвестиционной деятельности.

Грузовые перевозки железнодорожным транспортом в данном сценарии вырастут с 1355 млн т в 2022 г. до 1736 млн т к 2036 г. Объем перевозок грузов в контейнерах увеличится с 6,5 млн ДФЭ до 12,4 млн ДФЭ. Основной вклад в увеличение грузопотоков будет осуществляться за счет роста перевозок в экспортном сообщении – с 430 млн т до 668 млн т. Рост импортных перевозок ожидается с 71 млн т до 86 млн т, внутренних перевозок – с 818 млн т до 919 млн т. Также ожидается рост транзитных перевозок с 37 млн т до 63 млн т за счет неконтейнеризированных грузов из Центральной Азии на фоне сокращения транзита из Азии в Европу.

Анализ достаточности своевременной реализации мероприятий действующих инвестиционных проектов на маршрутах следования заявляемых перевозок грузов показал возможным освоение заявляемых объемов перевозок в сообщении со станциями Москва-Южный Порт, развития ТЛЦ «Уральский» на станции Аппаратная Свердловской железной дороги, строительства ТЛЦ «Екатеринбург» на станции Седельниково, развития ТЛЦ «Самарский» на станции Кинель, строительство мультимодального транспортно-логистического центра «Бронка» в Большом порту Санкт-Петербурга и других без корректировки набора мероприятий действующих инвестиционных программ и сроков их реализации [1, 9].

Транспортно-логистическая инфраструктура Центрального транспортного узла

Не менее важную роль в транспортном комплексе страны играет Московский регион. На него приходится значительная нагрузка по обеспечению пропуска и перераспределения грузовых и пассажирских потоков между различными видами транспорта.

Центральный транспортный узел (далее – ЦТУ) является самым крупным по протяженности на сети железных дорог Российской Федерации. Основной целью работы ЦТУ является не только обеспечение транспортной доступности населения Москвы и Московской области, но и доставка грузов для обеспечения жизнедеятельности Московской агломерации. Транспортно-логистическая инфраструктура Московского региона на сегодняшний день ориентирована как на переработку насыпных, генеральных грузов, так и контейнеров.

Суммарные объемы отправления и прибытия контейнеров в сообщении со станциями ЦТУ в 2024 г. составили 20,9 млн т (2,5 млн ДФЭ), что на 27 % выше уровня 2023 г.

По состоянию на 2025 г. в пределах ЦТУ осуществляют работу 17 грузовых терминалов ОАО «РЖД», на этих объектах производится

Эффективным вариантом организации работы терминально-складской сети в ЦТУ является формирование в черте города сети универсальных городских грузовых терминалов (Кунцево-II, Москва-Южный Порт, Ховрино), нацеленных на работу с предприятиями города Москва, сети городских терминалов, расположенных в городах Московской области, и крупных сетевых мультимодальных грузовых терминалов (Белый Раст, Ворсино, Электроугли, Усады-Окружные, Люберцы II), предназначенных для выполнения функций распределительных центров, аккумулярования крупных транспортных потоков с их последующим перенаправлением в иные регионы Российской Федерации.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99



1000

Journal of Management Studies, 37(6), 809–826.

ково, которые могут работать по технологии спутников ТЛЦ опорной сети.

Кроме того, в числе перспективных терминально-логистических центров можно отметить ТЛЦ «Пермский», которой планируется разместить на станции Блочная Свердловской железной дороги. Планируемая мощность – 300 тыс. ДФЭ к 2027 году (рис. 2) [4, 6].



Рис. 2. Территория ТЛЦ «Пермский» [6]

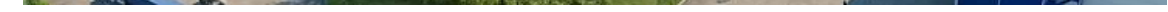
Транспортно-логистическая инфраструктура в границах Екатеринбургского железнодорожного узла

В границах города Екатеринбургского железнодорожного узла расположены следующие ТЛЦ и контейнерные терминалы: ТЛЦ «Уральский» (станция Аппаратная), контейнерный терминал ПАО «ТрансКонтейнер» (станция Екатеринбург-Товарный), терминал «С.И.Т. Екатеринбург» (станция Кольцово), терминал ООО «Модуль» (станция Шувакиш). Планируется дальнейшее развитие ТЛЦ «Уральский» на станции Аппаратная Свердловской железной дороги (рис. 3). Перерабатывающая способность терминала в 2024 г. отмечена на уровне 300 тыс. ДФЭ, при этом перспективная мощность терминала на 2027 г. планируется в объеме 600 тыс. ДФЭ. ТЛЦ «Уральский» выполняет функции передаточного пункта мультимодальных маршрутов в сообщении с ключевыми транспортными пунктами Екатеринбургского узла [5, 7].

Реализация проекта I этапа строительства ТЛЦ «Екатеринбург» (станция Седельниково) запланирована на 2030 год. Мощность ТЛЦ «Екатеринбург» на I этапе составит 300 тыс. ДФЭ, к 2035 ожидается увеличение мощности до 880 тыс. ДФЭ. Основным residen-



1000



1. *Journal of Management Studies*, 1990, 27, 1, 1-14.

1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1033-1036.

тории Северо-Западной и Центральной части Китая в Российской Федерации, а также обеспечивать загрузку контейнеров по обратному направлению маршрута. Однако ТЛЦ «Южноуральский» с момента окончания строительства до настоящего момента так и не вышел на проектную мощность в размере 250 тыс. ДФЭ. В 2024 г. объемы перевозок контейнеров в сообщении со станцией Формачево составили 35,5 тыс. т, что в 5,4 раза выше уровня 2023 г. (рис. 4) [4, 8].

Транспортно-логистическая инфраструктура республики Татарстан

В настоящее время ПАО «ТрансКонтейнер» для доставки контейнеров в Республику Татарстан использует терминал, расположенный на станции Тихорецкая (город Казань). Объемы перевозок контейнеров в 2024 г. составили в сообщении со ст. Тихорецкая 85,8 тыс. т (+148 % к уровню 2023 г.). В перспективе планируется значительно увеличить мощность данного терминала по обработке контейнеров.

Компания FESCO планирует использовать межрегиональный мультимодальный логистический центр (далее – ММЛЦ) «Свияжск» (станция Свияжск) для доставки грузов контейнеров в Республику Татарстан и сопредельные регионы (Республику Марий Эл, Республику Чувашия) из стран Азиатско-Тихоокеанского региона через порты Дальнего Востока и Казахстан (рис. 5) [9, 11].



Рис. 5. Мультимодальный логистический центр «Свияжск» [9]

Транспортно-логистическая инфраструктура Нижегородской, Владимирской, Самарской областей

Создание ТЛЦ «Доскино» (станция Доскино) запланировано на территории Нижегородской области, в непосредственной близости от Нижнего Новгорода. В первую очередь терминал ориентирован на доставку автозапчастей и вывозу готовой продукции ПАО «ГАЗ». В настоящее время для обеспечения потребностей населения Нижегородской области и предприятий Нижнего Новгорода (в т. ч. ПАО «ГАЗ») используется контейнерные терминалы, расположенные на станции Костариха и Нижний Новгород-Автозавод. В 2024 г. объем перевозок контейнеров в сообщении с данными станциями составил 0,33 млн т.

В 2023 г. на грузовом терминале «Юрьевец» (город Владимир) организован полноценный контейнерный сервис (терминально-складские услуги). Объем перевозок контейнеров в сообщении со станцией Юрьевец за 2024 г. составил 75 тыс. т. В перспективе на базе данного терминала планируется создание ТЛЦ с увеличением мощностей по переработке контейнеров.

Местоположение ТЛЦ «Самарский» (станция Кинель) вблизи Самаро-Тольяттинской городской агломерации формирует зону обслуживания населения и промышленных предприятий не только всей Самарской области, но и соседних регионов (Ульяновская область, западная часть Оренбургской области). Начало функционирования ТЛЦ «Самарский» обеспечит регулярными контейнерными сервисы в направлении портов Азово-Черноморского бассейна (Новороссийск, Ростов-на-Дону), а также в сообщении с портами Дальнего Востока и странами Центральной Азии. В настоящее время обработка контейнерных грузов ведется на станции Безымянка, объемы перевозок контейнеров в 2024 г. составили 0,15 млн т.

На территории Республики Башкортостан запланировано строительство ТЛЦ на станции Иглино. Транспортный агро-логистический парк (ТАЛП) «Уфимский» ориентирован на перегрузку продукции агропромышленного комплекса, а также товаров народного потребления, перспективная мощность – 50 тыс. ДФЭ. Первая очередь ТАЛП «Уфимский» будет запущена в конце 2025 г. В настоящее время потребности города Уфы покрывает контейнерный терминал, расположенный на станции Черниковка, объемы перевозок в 2024 г. составили 0,31 млн т [5, 12].

Транспортно-логистическая инфраструктура Санкт-Петербурга, Ленинградской и других областей

В Санкт-Петербургском железнодорожном узле расположено несколько крупных контейнерных терминалов, которые обеспечивают не-

обходимыми товарами город Санкт-Петербург и Ленинградскую область (ТЛЦ «Шушары», ТЛЦ «Бронка», контейнерные терминалы на ст. Купчинская, ст. Заневский Пост (Логопарк «Янино»), станция Предпортовая), а также обеспечивают перевалку контейнеров в Большом порту Санкт-Петербург (ст. Автово, ст. Новый Порт).

Объемы перевозок контейнеров в сообщении со станцией Шушары в 2024 г. составили 1,66 млн т. Мощность ТЛЦ «Шушары» составляет 300 тыс. ДФЭ, операторы – ООО «Восход» и АО «Логистика-Терминал». На ТЛЦ «Шушары» реализуется автоматизированная система учета контейнеров и операций с ними.

Многофункциональный морской перегрузочный комплекс (ММПК) «Бронка» является единственным глубоководным терминалом в Большом порту Санкт-Петербург. Объемы перевозок контейнеров в сообщении со станцией Бронка в 2024 г. составили 1,73 млн т. Мощность контейнерного терминала ММПК «Бронка» составляет 500 тыс. ДФЭ, однако фактические объемы переработки грузов составляют всего 5 % от текущей пропускной способности порта). План дальнейшего развития включает в себя увеличение мощности по обработке контейнерных грузов до 1,45 млн ДФЭ в год. На территории ММПК «Бронка» предполагается строительство мультимодального транспортно-логистического центра «Бронка» (МТЛЦ «Бронка»), рис. 7. МТЛЦ «Бронка» – совместное предприятие ООО «Феникс» и ООО «Логопер», созданное для решения задачи по строительству современного объекта транспортной инфраструктуры, расположенного на территории ММПК «Бронка» [1, 10].

В Санкт-Петербурге расположен универсальный городской контейнерный терминал Санкт-Петербург-Финляндский, находящийся под управлением Октябрьской дирекции по управлению терминально-складским комплексом. Объемы перевозок контейнеров в сообщении со ст. Санкт-Петербург-Финляндский в 2024 г. составили 0,28 млн т. В 2023 г. была открыта вторая контейнерная площадка, что позволило разделить потоки грузов по направлениям и отправлять до 40 контейнерных поездов в месяц, также было закуплено пять новых единиц техники для погрузочно-разгрузочных работ: газомоторные вилочные малогабаритные погрузчики и контейнерный перегружатель. На универсальном городском терминале Санкт-Петербург-Финляндский продолжается работа по развитию контейнерных перевозок, внедрению цифровых сервисов, расширению географии перевозок, развитию концепции «зелёного терминала».

Объем перевозок по станции Калининград-Сортировочный составил 67 тыс. т, при этом основные корреспонденции были выделены

в направлениях Москвы и Московской области, а также значительный объем отправления и прибытия грузов был отмечен в сообщении со станциями Приморского края, Кемеровской области (ст. Обнорская) и ЖДПП на границе с Казахстаном.

Контейнерный терминал Черняховск в основном служит для обеспечения потребностей предприятий и населения Калининградской области. Объем перевозки контейнерных грузов в сообщении со станцией Черняховск в 2024 г. составил 0,17 млн т [11].

Вывод

Для достижения максимального положительного эффекта мероприятий для освоения дополнительного заявляемого объема перевозок грузов потребуются своевременная реализация действующих инвестиционных программ ОАО «РЖД», корректировка сроков их реализации, мероприятия в рамках Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г. (в т. ч. не подтвержденные финансированием), а также дополнительные мероприятия по развитию железнодорожной сети ОАО «РЖД», прорабатываемые в настоящее время с учетом формирования новых направлений перевозок грузов (например, мероприятия, возникающие для пропуска дополнительных объемов грузов согласно информации из обращений о выдаче исходных данных для примыкания путей необщего пользования к инфраструктуре ОАО «РЖД»).

Соотнесение рассматриваемых в статье терминально-логистических комплексов необходимым мероприятиям по развитию железнодорожной сети ОАО «РЖД», которые отражены в действующих инвестиционных программах ОАО «РЖД», а также иных стратегических документах.

Библиографический список

1. Российские железные дороги // ОАО «РЖД»: сайт. – URL : <https://cargo.rzd.ru/ru/11680/page/103290?id=20928#main-header> (дата обращения 27.10.2025). – Текст : электронный.
2. Перфильева, П. В. Инновационные подходы к совершенствованию качества предоставления услуг клиентам железнодорожного транспорта / П. В. Перфильева, А. С. Кашкарев, Н. В. Власова. – Текст : непосредственный // 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.

3. Власова, Н. В. Унифицированные требования к местам общего пользования / Н. В. Власова. – Текст : непосредственный // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2022. – № 9. – С. 159-160.

4. Власова, Н. В. Структурные особенности отрасли транспортно-логистических услуг с выделением сегментов, потребителей, конкурентов в кластере грузовых перевозок, экспедиторских и складских услуг / Н. В. Власова, Е. Ю. Царегородцева. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 4 (84). – С. 32–41.

5. Государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности : сайт. – URL : <https://gisogd.mos.ru/home/> (дата обращения 27.10.2025). – Текст : электронный.

6. Транспортная неделя 2022 г. : сайт. – URL : <https://2022.transweek.digital/upload/iblock/258/mbivhq84rhlilacemcs0f86a247946fq/KAHIDZE%20ALEXANDR.pdf> (дата обращения 27.10.2025). – Текст : электронный.

7. Транспортно-логистический мультимодальный центр «Уральский» : сайт. – URL : <https://logoper.ru/infrastruktura/tlts-uralskiy/> (дата обращения 27.10.2025). – Текст : электронный.

8. Транспортно-логистический комплекс «Южноуральский» ООО «Сухой порт Южноуральский». – URL : <https://tlku.ru/> (дата обращения 27.10.2025). – Текст : электронный.

9. Мультимодальный логистический центр «Свияжск» : сайт. – URL : <https://cargox.ru/publications/Logistics/Large-scale-projects-logistics-center-in-Sviyazhsk-federal/> (дата обращения 27.10.2025). – Текст : электронный.

10. Центральная дирекция по управлению терминально-складским комплексом (ЦМ) : официальный сайт. – URL : <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105554?id=1951#6972> (дата обращения 27.10.2025). – Текст : электронный.

11. Гайдарова, В. В. Анализ международных транспортных коридоров. Курс на Китай / В. В. Гайдарова, К. В. Кузнецова, Н. В. Власова. – Текст : непосредственный // Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия : сборник научных статей 7-й всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Курск, 2025. – С. 71–75.

12. Бородавченко, Л. М. Развитие новых логистических коридоров с целью повышения конкурентоспособности поставок грузов железнодорожным транспортом / Л. М. Бородавченко, А. С. Савченко, Н. В. Власова. – Текст : непосредственный // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых учёных : сборник научных статей 4-й всероссийской научной конференции перспективных разработок. – Курск, 2023. – С. 75–79.

В. Л. Герус, Н. Ф. Сирина

*Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия*

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В ПРАКТИКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Статья посвящена исследованию методологических основ применения предиктивной аналитики для повышения эффективности железнодорожного транспорта. В работе обоснована необходимость перехода от реактивных к проактивным моделям управления на фоне негативной динамики ключевых операционных показателей, таких как снижение среднесуточной погрузки. Рассмотрены сущность и этапы предиктивной аналитики, её место среди других видов интеллектуального анализа данных, а также две ключевые парадигмы прогнозирования: «Характеристика настоящего» и «Формирование будущего».

Особое внимание уделено системным барьерам внедрения, которые сформулированы в виде трёх методологических дилемм: данных, модельной и экономической. Проанализирован значительный потенциал технологии, выражающийся в сокращении эксплуатационных затрат на 25–30 %, времени простоев на 35–45 % и непредвиденных отказов оборудования до 75 %.

Сделан вывод о том, что успешная интеграция предиктивной аналитики в практику железнодорожного транспорта требует не столько заимствования готовых решений, сколько глубокой адаптации и развития методологической базы с учётом специфики национальной транспортной системы.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, железнодорожный транспорт, цифровизация, проактивное управление, оптимизация затрат, интеллектуальный анализ данных, методологические дилеммы.

Повышение операционной эффективности и надежности железнодорожного транспорта, являющегося системообразующим элементом транспортной системы России, относится к числу стратегических задач национального масштаба. В условиях возрастающих требований к пропускной и провозной способности, а также жестких ограничений по эксплуатационным затратам, традиционные реактивные модели управления, основанные на анализе ретроспективных данных, демонстрируют свою ограниченную результативность. Наличие значительных резервов

для оптимизации ключевых процессов, таких как управление подвижным составом, техническое обслуживание и планирование грузопотоков, обуславливает необходимость перехода к проактивной концепции, основанной на прогнозировании состояний и событий.

Результаты актуального анализа статистики железнодорожного транспорта свидетельствуют об снижении ключевых показателей его. Так, в 2024 г. общая среднесуточная погрузка сократилась с 3388,5 до 3239,8 тыс. т в сутки, что составило 4,6 % относительно показателей 2023 г. По мнению экспертов, «для устойчивой работы железнодорожного транспорта необходимо поддерживать ежедневный объем перевозок на уровне 3,4–3,5 млн т. Однако в 2024 г. фактические показатели оказались ниже этого порогового значения, что создает системные риски для отрасли. Особенно сложная ситуация наблюдалась в январе, когда уровень погрузки опускался до критических 2700 тыс. т в сутки» [1].

Причины сложившейся ситуации снижения показателей основной и логистической деятельности железнодорожного транспорта заключается в устаревших инфраструктуре и парке подвижного состава, усилении конкуренции с другими видами транспорта, высокие затраты финансовых, временных и иных ресурсов.

Перечисленные причины требуют новых, более совершенных подходов и механизмов управления процессами и затратами в практике железнодорожного транспорта, что, в свою очередь, требует систематизации и развития методологических положений внедрения цифровых технологий для решения задач повышения эффективности эксплуатации железнодорожного транспорта.

Цифровизация и, в частности, предиктивные модели, создают возможности оптимизации ключевых операционных процессов. Эффект от внедрения таких технологий заключается «в снижении эксплуатационных затрат на 25–30 %, сокращении времени простоев на 35–45 % и устранение до 75 % непредвиденных отказов оборудования» [1]. Цифровизация позволяет снизить затраты на техническое обслуживание на 8–12 % за счет использования предиктивных технологий вместо традиционных плановых подходов.

Внедрение передовых цифровых решений становится ответом на вызовы растущей конкуренции и требований к оптимизации железнодорожных перевозок. В этом ряду предиктивная аналитика занимает одно из ключевых мест, поскольку предоставляет возможность не просто анализировать ретроспективную информацию, а прогнозировать будущие состояния системы (рис. 1). Это позволяет перейти от корректирующих действий к превентивным стратегиям, закладывая основу для принципиально нового обеспечения сервиса и безопасности.



Рис. 1. Виды аналитики больших данных

Предиктивная аналитика представляет собой научно-методологический аппарат, основанный на применении статистических алгоритмов, методов машинного обучения и моделирования для построения вероятностных оценок будущих состояний сложной системы. В отличие от дескриптивного анализа, описывающего произошедшие события, предиктивные модели позволяют идентифицировать причинно-следственные связи и латентные зависимости в данных для расчета вероятности наступления тех или иных событий. Очевидно, что любая интеллектуальная аналитика, представленная на рис. 1, весьма трудозатратна. На рис. 2 представлены этапы работы с данными в предиктивной аналитике.

Аналитическое исследование начинается с идентификации и накопления релевантных данных, полученных из различных источников, к которым можно отнести корпоративные системы управления ресурсами (ERP), платформы для управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), а также централизованные хранилища данных. Поскольку различные аналитические инструменты оперируют специфическими требованиями к формату входной информации, следующим критически важным этапом становится преобразование исходных данных. Эта процедура обеспечивает их соответствие внутренним стандартам аналитической системы, что является необходимым условием для последующей корректной обработки.

Результирующие выводы, полученные в ходе анализа, служат основой для оптимизации бизнес-процессов. Практическая реализация может включать в себя классификацию клиентской базы по поведенческим

и демографическим признакам или кластеризацию портфеля товаров или услуг для выявления стратегических ниш.

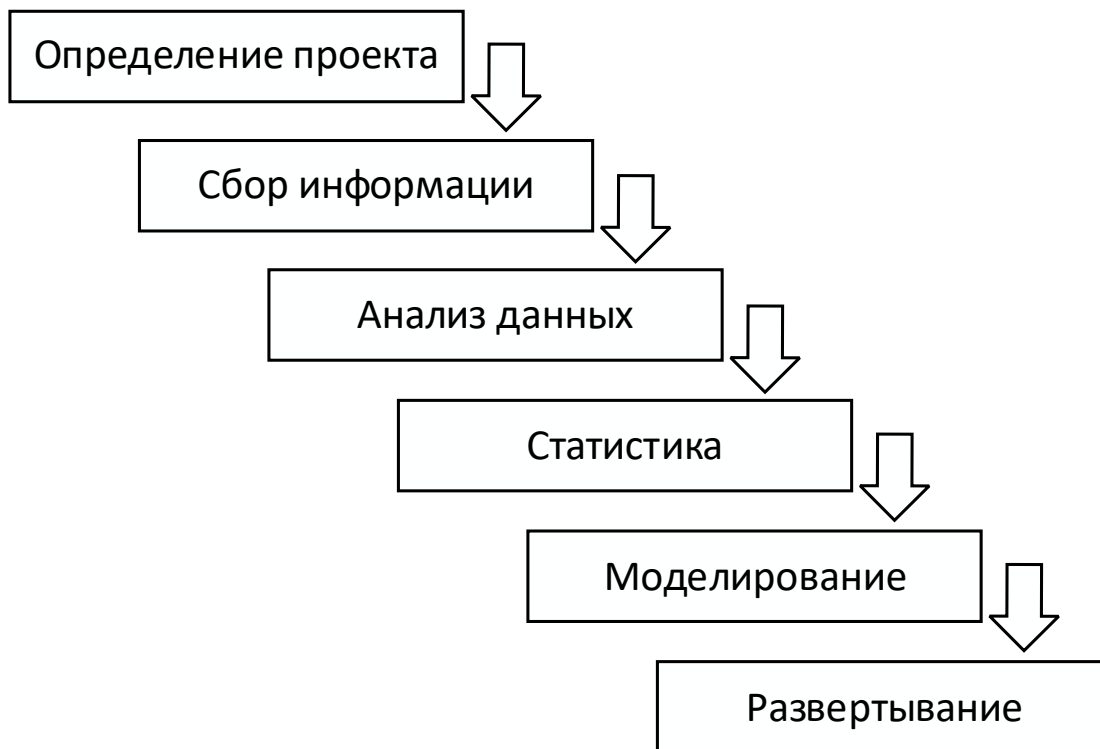


Рис. 2. Схема работы с данными в предиктивной аналитике

В условиях повсеместной цифровизации, сопровождающейся накоплением компаниями значительных объемов структурированных и неструктурированных данных, для интеллектуального анализа больших данных применяется специализированное программное обеспечение. Эволюционное развитие таких вычислительных инструментов привело к качественному росту их производительности: современные аналитические платформы демонстрируют способность к обработке масштабных массивов данных, выполняют запросы с минимальным временем отклика и успешно реализуют алгоритмы машинного обучения повышенной сложности.

Предиктивная аналитика, формируя модели состояния исследуемого объекта в будущем, в настоящее время получила наибольшее распространение по сравнению с другими видами интеллектуального анализа, представленными на рис. 1. Методология предиктивной аналитики включает в себя методы статистики, интеллектуального анализа данных и теории игр и в рамках концептуальной классификации предполагает выделение двух парадигм прогнозирования, представленных на рис. 3.

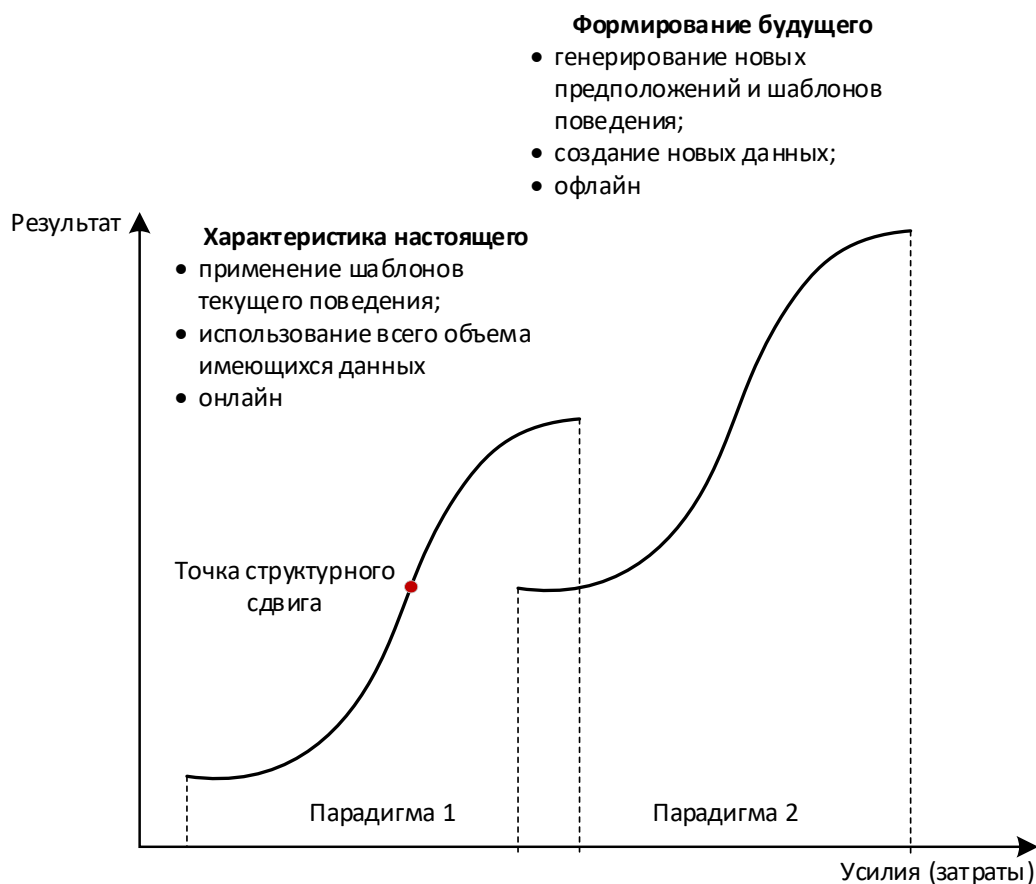


Рис. 3. Парадигмы предиктивной аналитики

В соответствии с этой классификацией зависимость «затраты – результат» прогнозирования описывается S-образной (логистической) кривой, характеризующей разные этапы жизненного цикла технологии интеллектуального анализа: зарождение – развитие – стагнация. Переход от одной парадигмы к другой – от прогнозирования на основе наблюдаемых ретроспективных данных к целевому прогнозированию на основе множества вариантов «дорожных карт» – происходит в следствие возникновения новых методов и подходов интеллектуального анализа.

В настоящее время успешно используются обе парадигмы, что объясняется различием назначений прогнозирования. В рамках парадигмы «Характеристика настоящего» определяются типовые стратегии и тактики управления процессами и затратами. Вторая парадигма «Формирование будущего» предполагает нормативно-целевой подход, основанный на накоплении данных нетипичных для современного этапа развития объекта исследования для того, чтобы не только предсказать его поведение под воздействием окружающей среды, но и активно участвовать в изменении самой окружающей среды.

Несмотря на признанный потенциал предиктивных технологий, их интеграция в операционную деятельность предприятий железнодорожного транспорта сопряжена с преодолением системных барьеров, детерминированных спецификой отрасли. Актуальность данной задачи особенно возрастает в контексте курса на импортозамещение, который стимулирует развитие собственных цифровых решений.

Специфика российского железнодорожного комплекса, характеризующаяся масштабностью, технологической неоднородностью и сложностью производственных процессов, вступает в противоречие с требованиями современных аналитических систем. Данное противоречие проявляется в виде ряда методологических и организационных дилемм:

1. **Дилемма данных** – возникает диссонанс между информационными потоками данных, генерируемых датчиками, инфраструктурой и подвижным составом, и ограниченной пропускной способностью существующих систем для их консолидации, очистки и трансформации в пригодный для анализа формат. Это создает «информационный паралич», когда данные есть, но извлечь из них операционную ценность невозможно.

2. **Модельная дилемма** – существует разрыв между объективной потребностью в высокоточных прогнозных моделях (для предсказания отказов, оптимизации маршрутов) и методологической сложностью их разработки. Многокомпонентность железнодорожной системы, ее нелинейность и подверженность множеству внешних факторов требуют создания комплексных симуляционных сред и применения гибридных алгоритмов, что остается областью научного поиска.

3. **Экономическая дилемма** – наблюдается конфликт между декларируемой выгодой от внедрения предиктивных систем и отсутствием унифицированных методик для верификации экономического эффекта и расчета ROI. Это затрудняет обоснование крупных капиталовложений и принятие стратегических инвестиционных решений.

Преодоление указанных барьеров является критически важным условием для раскрытия потенциала предиктивной аналитики, который заключается в переходе к проактивной модели управления. Реализация этого потенциала открывает путь к значительной оптимизации ключевых показателей, такой как минимизация простоев подвижного состава и повышение коэффициента использования инфраструктурных активов.

Таким образом, ретроспективный анализ мировых практик и теоретических изысканий свидетельствует о том, что предиктивная аналитика трансформируется из инновационного инструмента в обязательный компонент архитектуры конкурентоспособной железнодорожной логистики. Ее внедрение создает предпосылки для формирования новых

стандартов эффективности, ресурсосбережения и управляемости рисков. Ключевой задачей на современном этапе становится не столько заимствование готовых решений, сколько их глубокая адаптация и развитие методологической базы с учетом уникальных параметров национальной транспортной системы.

Библиографический список

1. Асалханова, С. А. Применение предиктивной аналитики в планировании контингента монтеров пути в автоматизированных системах управления железнодорожным транспортом / С. А. Асалханова, В. С. Осколков. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.

2. Гаврилюк, Е. С. Предиктивная аналитика в железнодорожной логистике: матрица технологических решений и стратегия внедрения / Е. С. Гаврилюк, Т. Н. Бикмулина, Д. А. Попов, О. С. Хамдалов. – Текст : непосредственный // Естественно-гуманитарные исследования. – 2025. – № 3 (59). – С. 99–104.

3. Голов, Г. Р. Концептуальные основы реализации технологии предиктивной аналитики на высокотехнологичных промышленных предприятиях / Г. Р. Голов, А. В. Мыльник. – Текст : непосредственный // Научные труды ВЭО России – Т. 248. – С. 486–494.

4. Егоров, С. В. Мировой и российский опыт применения интеллектуальных транспортных систем / С. В. Егоров, П. В. Шационок, А. И. Ерпылева, Д. И. Жарков. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2022. – № 2. – С. 130–136.

5. Хасанов, А. Р. Влияние предиктивной аналитики на деятельности компаний / А. Р. Хасанов. – Текст : непосредственный // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 3 (108). – С. 108–113.

6. Gerus, V. L. Application of the process approach as a methodological basis for formation of a unified network technological process of railway transport / V. L. Gerus, N. F. Sirina // International scientific and practical conference «Railway transport and technologies (RTT-2021) Collection of conference materials. – USA : AIP PUBLISHING, 2023. – Volume 2624. Том 2624, Issue 1. – Текст : непосредственный.

7. Сирина, Н. Ф. Анализ взаимодействия ключевых показателей эффективности с целевыми результатами деятельности компании / Н. Ф. Сирина, В. Л. Герус. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 3. – С. 57-65.

8. Фарафонова, Е. В. Анализ данных в области информационных систем на разных железных дорогах России / Е. В. Фарафонова. – Текст : непосредственный // Вестник науки и образования. – 2024. – № 3 (146)-1. – С. 19–22.

9. Ярмолинский, Ф. А. Особенности использования big data при исследовании грузопотоков на железнодорожном транспорте / Ф. А. Ярмолинский. – Текст : непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – 2024. – № 1. – С. 104–122.

А. В. Демьянович, Е. Д. Данилина, С. Д. Подолинная
*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск, Россия*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БОНДОВЫХ СКЛАДОВ В РОССИИ

В статье рассматриваются бондовые склады как важный элемент международной торговли, предназначенные для хранения товаров, на которые не уплачены таможенные пошлины. Подчёркивается актуальность использования бондовых складов в условиях глобализации и увеличивающихся объёмов внешнеэкономической деятельности. Обсуждаются основные проблемы, с которыми сталкиваются бондовые склады, такие как правовые и нормативные ограничения, недостаток инфраструктуры и риски, связанные с учётом товарных запасов. Предлагаются пути решения этих проблем, включая унификацию законодательства, внедрение современных технологий и развитие транспортных систем. Рассматриваются перспективы дальнейшего развития бондовых складов, включая дигитализацию процессов, повышение устойчивости к экологическим вызовам и интеграцию с логистическими центрами. Рассмотрены особенности функционирования бондовых складов в России и за рубежом и основные направления для дальнейшего развития данной области.

Ключевые слова: бондовый склад, трансграничная инфраструктура, логистика, внешнеэкономическая деятельность, международная торговля, таможенный контроль, логистический центр.

В условиях глобализации мировой торговли, увеличении объёмов международной торговли и растущей конкуренции между участниками внешнеэкономической деятельности особую актуальность приобретают

инновационные логистические решения. Один из таких направлений является развитие системы бондовых складов для оптимизации процесса таможенного оформления и хранения импортных товаров. Бондовые склады могут выступать в качестве основных драйверов для развития электронной торговли, которая по данным 2022 г. составляет 3,9 % от ВВП, тем самым способствуя росту трансграничной торговли [0]. В настоящее время бондовые склады становятся ключевым элементом стратегии развития международной торговли для многих компаний. Они позволяют не только оптимизировать финансовые потоки и снизить издержки, но и повысить конкурентоспособность бизнеса на глобальном рынке. Особенно актуальным становится использование такой модели в условиях растущей цифровизации экономики и развития электронной коммерции.

Бондовый склад – это площадь для хранения внешнеторговых грузов под таможенным контролем, но без уплаты налога на добавленную стоимость (НДС) и таможенных пошлин до момента транспортировки товара со склада конечному потребителю. С нормативно-правовой стороны такой склад находится под юрисдикцией таможни, а товары могут храниться неограниченный срок и во время хранения не облагаются пошлинами. Налоги и сборы нужно оплатить только после того, как товар покинет склад. Исключение составляют подакцизные товары, для которых действуют налоговые льготы, тарифные квоты и прочие особенности. Данная модель организации позволит сократить сроки доставки. Нерентабельные товары могут быть отправлены в другие страны по упрощенной системе реэкспорта или возвращены производителю. В настоящее время бондовые склады широко используются в различных сферах международной торговли. Основными направлениями их применения являются:

- хранение импортных товаров с отсрочкой уплаты таможенных платежей;
- комплектация экспортных партий товаров;
- переработка иностранных товаров с последующим реэкспортом;
- проведение предпродажной подготовки товаров;
- организация распределительных центров для международных торговых компаний.
- эффективность использования бондовых складов определяется рядом факторов, включая:
 - сокращение оборотных средств за счет отсрочки уплаты таможенных платежей;
 - оптимизация логистических издержек;

- возможность проведения операций по переработке и модификации товаров;

- повышение конкурентоспособности экспортной продукции.

Однако функционирование бондовых складов сопряжено с рядом проблем, к которым можно отнести:

- нормативно-правовое регулирование. В разных странах существуют различные подходы к регулированию бондовых складов.

Для развития бондовых складов необходимо разработать документ, регламентирующий нормативно-правовой аспект их функционирования с ориентацией на международный практический опыт. В настоящий момент правовое регулирование данной сферы непрерывно совершенствуется в следствии изменений, происходящих на мировом рынке. Формирование соответствующей нормативно-правовой базы станет фундаментом для институционализации данной формы деятельности.

Основные проблемы данной области, требующие детального анализа и комплексного подхода к их решению:

- инфраструктурный дефицит, препятствующий эффективному функционированию бондовых складов. Для обеспечения их работы необходима развития транспортно-логистическая инфраструктура, включающая мультимодальные транспортные коридоры, позволяющая интегрировать различные виды транспорта и оптимизировать логистические цепочки доставки;

- системное управление операционными рисками. Основной проблемой при организации международных перевозок является непредсказуемые изменения таможенных тарифов, которые создают финансовую нестабильность, тем самым создавая временные задержки при оформлении грузов;

- оптимизация управления материальными потоками. Проблемы, связанные с учетом и контролем товарных запасов, снижают эффективность складской деятельности. Следствием данных проблем является рост операционных издержек, снижение оборачиваемости складских запасов и ухудшение качества логистического сервиса.

В качестве инновационных подходов к решению данных проблем предлагается внедрение интегрированных систем управления складом. Данные системы мониторинга товаропотоков в режиме реального времени, автоматизацию процессов складской обработки грузов и оптимизацию логистических цепочек. Параллельно необходимо создание эффективной системы комплаенс-контроля, включающей мониторинг соблюдения таможенных регламентов, контроль выполнения фискальных обязательств и проактивное выявление регуляторных рисков. Реализа-

ция предложенных мер позволит создать сбалансированную систему управления, минимизирующую операционные риски и повышающую эффективность управления материальными потоками в логистических комплексах, что в конечном итоге будет способствовать укреплению их конкурентных позиций на рынке логистических услуг.

Одновременно необходимо развитие стратегического партнерства с транспортными операторами и институционализация регулярного аудита и операционного анализа для проактивного выявления узких мест. Заключительным этапом должна стать реализация программ профессионального обучения персонала и внедрение технологий Индустрии 4.0, включая роботизированные логистические системы, интернет вещей (IoT) и технологию распределенного реестра (блокчейн). Эти меры направлены на значительное повышение эффективности и безопасности производственных процессов.

Реализация данного комплекса мероприятий обеспечит создание конкурентоспособной экосистемы бондовых складов, которая будет соответствовать современным требованиям логистической парадигмы. Это, в свою очередь, будет способствовать интеграции российской экономики в глобальные цепочки.

Бондовые склады являются важнейшим инфраструктурным звеном распределительных систем стран-лидеров международной торговли. Крупнейшие транснациональные компании таких государств, имея штучное количество бондовых структур, обеспечивают огромные поставки своей продукции на внутренний и международный рынки [2].

Бондовые склады широко распространены в мире и играют ключевую роль в трансграничной торговле. Лидеры мировой экономики, включая Западную Европу, Северную Америку и Юго-Восточную Азию, успешно применяют модель бондовых складов. В Китае данная система получила более широкое развитие в виде создания «бондовых зон». Бондовые логистические зоны Китая специализированы на обслуживании экспортно-импортных грузов, поэтому называются ещё Зонами Транзитной Торговли (ЗТТ). Наиболее значимые логистические мощности Китая сконцентрированы в четырёх регионах вокруг приморских городов восточного побережья:

- регион вокруг Бохайского залива, объединяющий Пекин, Тяньцзинь, Шэньян, Далянь, Циндао.
- регион в дельте реки Янцзы, объединяющий Шанхай, Нанкин, Ханчжоу и Нинбо.
- регион Тайваньского прилива с городами Сямынь и Фучжоу.

– регион в дельте реки Чжуцзян с городами Гуанчжоу и Шэньчжэнь.

Сейчас в Китае действует 15 бондовых зон: Порт Тяньцзинь, Циндао, Шанхай Яшань, Шанхай Вайгаоцяо, Нинбо, Фучжоу, Сямынь, Шантоу, Гуанчжоу, Хайкоу, Чжанцзяган, Шэнчжень Футянь, Шэнчжень Шатоуцзяо, ЗСТ особого статуса Сучжоу [3].

В России технология бондовых складов находится на этапе эксперимента, который стартовал в 2023 г. Первыми операторами экспериментальных таможенных зон с бондовыми складами стали почтово-логистические центры «Почта России» в Казани и Внуково. Первый склад площадью 2000 кв. м. расположен в Татарстане, в логистическом центре «Почты России» рядом с аэропортом Казани при поддержке Правительства России и по инициативе главы республики Татарстан совместно с «Почтой России» на базе Казанского почтово-логистического центра совместно с компанией KazanExpress, дочерней компанией AliExpress.

Эксклюзивностью эксперимента является создание инфраструктурных условий «Почтой России», как выделенного оператора для упрощения импорта и экспорта товаров, приобретенных через Интернет-магазины, а также реэкспорта не востребуемых товаров обратно за рубеж. По итогам эксперимента, подобные склады будут открыты и в других регионах. Речь идет об открытии таких зон в Калужской области на базе строящегося в Ворсино крупного Почта-парка, а также на открытом в 2021 г. логистическом центре «Почты России» в Новосибирске.

1. Москва (Внуково)* - 06.2023
2. Екатеринбург - 01.2024
3. Санкт-Петербург - 10.2024
4. Новосибирск - 11.2024
5. Владивосток - 05.2025
6. Казань - 04.2023* / 09.2025
7. Краснодар - 09.2025



Рисунок. Планируемые к реализации бондовые склады Почты России

Дальнейшее развитие бондовых складов может осуществляться по следующим направлениям:

– цифровизация складского процесса. Внедрение цифровых технологий для автоматизации процессов учета, обработки и отслеживания товаров на бондовых складах может значительно увеличить эффективность их работы. Внедрение цифровых технологий в международные грузоперевозки способствует уменьшению зависимости от посредников, минимизации издержек при возмещении расходов и обеспечению более эффективной пакетной обработке и маршрутизации, может обеспечить дополнительную прибыль транспортной отрасли [4];

– экологическая устойчивость. Разработка экологически чистых стандартов для бондовых складов позволит сократить воздействие на окружающую среду и повысить привлекательность таких объектов для международных компаний;

– интеграция со смежными логистическими объектами. Совмещение функций бондового склада с другими логистическими структурами, такими как распределительные центры и транспортные узлы, может увеличить эффективность функционирования цепочки поставок;

– использование гибких бизнес-моделей. В условиях меняющейся экономической обстановки компании могут искать новые бизнес-модели, которые позволят более эффективно использовать бондовые склады в зависимости от потребностей рынка;

Таким образом бондовые склады являются важной частью современной системы международной торговли и логистики. Несмотря на существующие организационно-правовые сложности дальнейшая системная модернизация данной сферы способна повысить конкурентоспособность России на мировом рынке. Институционализация бондовых складов в России открывает новые стратегические возможности для формирования инновационного сегмента внешнеэкономической деятельности.

Библиографический список

1. Холмовский, С. Г. Трансформация логистической инфраструктуры российского рынка интернет-торговли / С. Г. Холмовский, А. В. Силантьев, М. Б. Малецкая. – Текст : непосредственный // Известия Байкальского государственного университета. – 2023. – Т. 33, № 2. – С. 322–329. – DOI 10.17150/2500-2759.2023.33(2).322-329. – EDN CZVYVN.

2. Карашук, О. С. Бондовые склады: современная инфраструктура торговли сельскохозяйственной продукцией / О. С. Карашук. – Текст : непосредственный // Аграрный вестник Урала. – 2020. – № 03 (194). – С. 82–90. – DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-82-90.

3. Основные логистические и торговые центры КНР. Китайские бонды. – URL : <https://chinalogist.ru/book/articles/issledovaniya/osnovnye->

logisticheskie-i-torgovye-centry-knr-kitayskie-bondy#:~:text=Сучжоу%20входит%20в%2049%203ТЭР. – Текст : электронный.

4. Подолинная, С. Д. Современные тенденции и перспективы развития трансграничной инфраструктуры при организации внешнеторговой деятельности в процессе цифровой трансформации транспортной отрасли / С. Д. Подолинная. – Текст : непосредственный // Цифровая трансформация транспорта: проблемы и перспективы : материалы IV международной научно-практической конференции, Москва, 25 сентября 2024 г. – Москва : Российский университет транспорта, 2024. – С. 139–144. – EDN DKAFTF.

*Д. Д. Жарикова, Н. В. Эрлих
ФГБОУ ВО «Приволжский государственный
университет путей сообщения»,
г. Самара, Россия*

ИННОВАЦИИ В ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗКАХ: КАК ТЕХНОЛОГИИ МЕНЯЮТ КОММЕРЧЕСКУЮ РАБОТУ

В статье рассмотрено, как цифровые технологии меняют коммерческую работу грузовой станции по всей цепочке «документ – осмотр – учёт – претензионная практика». Анализируются электронные перевозочные документы, автоматизированные посты коммерческого осмотра с машинным зрением и тепловизионным контролем, RFID-идентификация и эволюция связи к FRMCS. Показаны эффекты: сокращение времени приёма и осмотра, снижение влияния человеческого фактора, рост прозрачности статусов и юридической значимости операций, интеграция с АСУ и управляемость KPI.

Ключевые слова: грузовые перевозки; коммерческая работа станции; цифровизация железнодорожного транспорта; электронные перевозочные документы; АСУ перевозочного процесса; автоматизированный коммерческий осмотр поездов и вагонов (АСКОПВ).

Основную нагрузку на коммерческую работу станции в современных условиях формирует переход к цифровым процессам оформления, контроля и сопровождения грузов, что изменяет ритм операций приемо-сдатчика, диспетчера и коммерческого ревизора, а также требования к технологической связности АСУ перевозочного процесса. Внедрение платформ обмена электронными перевозочными документами обеспе-

чивает юридическую значимость электронных форм и их сквозной контроль. С 1 сентября 2022 г. в Российской Федерации вступили Правила обмена электронными перевозочными документами, которые утверждены Постановлением Правительства РФ № 931 от 21 мая 2022 г. [3]. Для станции это означает сокращение времени оборота документов при приёме груза и передаче состава под отправление, снижение количества разночтений при начислении сборов и плат за счёт машинной верификации реквизитов, а также устойчивую интеграцию с внешними ИТ-системами грузоотправителей и экспедиторов, поскольку статус документа и грузовой операции становится доступным для контролирующих органов и участников перевозочного процесса в реальном масштабе времени [3]. Практическим следствием является перенос ключевых точек контроля из бумажного оборота в цифровые шлюзы, где фиксация статусов, подписей и отметок производится средствами ГИС ЭПД, а юридическая сила форм обеспечивается электронной подписью, что стабилизирует претензионную работу станции и упрощает подтверждение фактов исполнения обязательств [3].

Качественный сдвиг в коммерческом осмотре вагонов задают технические комплексы, комбинирующие машинное зрение, датчики габаритности и идентификации и средства фиксации нарушений. В отраслевых работах подчёркивается, что на полигоне Российских железных дорог именно автоматизированные посты коммерческого осмотра создают аппаратную основу цифрового контроля; у Ф. А. Смирнова и А. В. Новичихина прямо сказано: «На железнодорожном транспорте в настоящее время основным аппаратным средством автоматизации грузовой работы является Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов» [4]. Коммерческий эффект проявляется в снижении времени обхода состава, минимизации пребывания персонала в опасной зоне и формировании доказательной базы для актов общей формы; одновременно растёт точность выявления нарушений крепления и утечек сыпучих или наливных грузов за счёт видеоаналитики и правил сценарного распознавания [2]. Конфигурирование таких постов «под профиль станции» позволяет выбирать приоритеты сенсоров и алгоритмов: для станций с интенсивным контейнерным потоком – оптика и распознавание маркировки, для нефте- и зерновых направлений – тепловизионная гамма и весовой контроль, для лесных грузов – габаритные рамки и машинное зрение на предмет вылетов за пределы погрузочного габарита [5].

В сегменте диагностирования и предиктивного контроля подвижного состава демонстрируется перенос акцента с периодических регламентных операций на непрерывный мониторинг состояний узлов с ис-

пользованием тепловизионных и электронных средств. По результатам исследования М. С. Васильевской и А. Е. Цаплина «Показаны преимущества тепловизионного контроля и технологий ИИ, включая дистанционность, высокую точность, возможность раннего обнаружения дефектов и автоматизацию процессов» [1]. Для коммерческой работы станции эта технологическая логика важна по двум причинам. Во-первых, сокращение непредвиденных задержек коммерческого характера при приёме составов: если диагностический контур депо и владельца вагона работает в режиме раннего обнаружения, то вероятность прибытия вагона с коммерческими неисправностями или опасными дефектами крепления снижается. Во-вторых, повышается качество первичной классификации выявленных нарушений на постах АСКО: интеграция тепловизионных аномалий и визуальных признаков с цифровыми регламентами выдаёт оператору готовую «подсказку» по форме акта и алгоритму доведения информации до АСУ перевозочного процесса [1]. Тем самым информационные разрывы между станцией, владельцем подвижного состава и грузовладельцем сокращаются, а цикл «обнаружение – классификация – документ – уведомление» выравнивается по времени и формату.

Существенное влияние на ритм коммерческих операций оказывает автоматизация приёма вагонов к перевозке как ключевого стыка между клиентским заказом, документами и фактическим состоянием вагона и груза. По результатам натурных испытаний на полигоне Октябрьской железной дороги Ф. А. Смирнов и А. В. Новичихин фиксируют: «...которые показали существенное снижение затрат времени на прием вагона к перевозке и влияния человеческого фактора, что в перспективе снижает себестоимость грузовых перевозок» [4]. Эти данные важны для нормирования на станциях: укорочение операций при сохранении полноты контроля напрямую конвертируется в сокращение технологического простоя вагонов, а следовательно – в рост пропускной и перерабатывающей способности. Для коммерческой службы это выражается в меньшем количестве нарушений сроков в документах и меньшем объёме разногласий с клиентами по части простоев по вине станции. Практическая реализация на типовой станции строится через выделенный «приёмо-сдаточный» контур с АРМ коммерческого работника, соединённый с постом видеоконтроля, модулем формирования актов и шлюзом обмена с ЭТРАН и ГИС ЭПД, что обеспечивает консистентность статусов документа и факта коммерческого осмотра в одной временной шкале [4].

Коммуникационная подсистема служит незаметным, но критическим основанием для непрерывности коммерческих операций. Переход от GSM-R к более ёмким архитектурам с низкими задержками предна-

значен для стабильной передачи телеметрии составов, потокового видео и служебных сообщений коммерческого осмотра; при слабой связности «запаздывание» статусов и изображений создаёт риски несогласованности документа и фактического состояния вагона, что в коммерческом смысле повышает вероятность спорных ситуаций [6]. Станции, имеющие развитые фронты погрузки, зависимы от устойчивого канала между постами АСКО, АРМ, ЭТРАН/ГИС ЭПД и корпоративными ИТ-системами клиентов, поскольку задержка передачи кадров или квитанций электронных форм приводит к вынужденным «окнам» в операциях, не связанным с реальным движением. В этой конфигурации обновление транспортной связи выступает не как «приложение» к безопасности движения, а как элемент непрерывности юридически значимых действий коммерческой службы [6].

Важной задачей становится измеримость эффектов. Без регулярного сопоставления «до/после» по времени коммерческого осмотра, доле электронных форм, частоте коммерческих неисправностей и объёму претензионных сумм внедрения воспринимаются как затраты без доказанной отдачи. На базовом уровне оценка строится на данных АРМ коммерческого работника, логах АСКО и выгрузках из ЭТРАН/ГИС ЭПД; на продвинутом – на потоковой аналитике и цифровых двойниках станционных процессов, которые позволяют выявлять «узкие места» и корректировать графики погрузочно-разгрузочных окон [4]. Отдельного внимания требует устойчивость алгоритмов распознавания в климатически сложных условиях и на загрязнённых объектах наблюдения: архитектура систем автоматизированного распознавания единиц подвижного состава проектируется с учётом помех, осадков и загрязнений оптики, а также типовых сбоев расшифровки маркировок, что прямо влияет на коммерческую точность учёта вагонопотоков [5]. Нормативно-правовой контур цифровых документов определяет порядок хранения, доступа и проверки юридической силы электронных форм, поэтому персонал коммерческой службы должен владеть не только технологией, но и режимами юридически значимых действий в электронном виде [3].

Таблица

**Технологические решения и эффекты
для коммерческой работы станции**

Решение	Функция на станции	Ожидаемый эффект
ГИС «Электронные перевозочные документы»	Оформление и обмен юридически значимыми документами	Сокращение времени оборота документов; проверяемость статусов

Окончание Таблицы

Решение	Функция на станции	Ожидаемый эффект
АСКО-ПВ с видеоаналитикой	Коммерческий осмотр составов при входе/выходе	Снижение времени осмотра; уменьшение влияния человеческого фактора
Тепловизионный и ИИ-контроль	Раннее выявление дефектов, поддержка классификации нарушений	Снижение коммерческих задержек; рост точности активирования
Интеграция АРМ–ЭТРАН–АСКО	Сквозная синхронизация статусов «осмотр–документ»	Снижение претензионных сумм; рост доли операций без разногласий
Устойчивые каналы связи (GSM-R/эволюция)	Передача видео/телеметрии и служебных сообщений	Стабильность «онлайн» формирования документов и актов

Переход к цифровому документообороту и автоматизированному коммерческому контролю требует организационной адаптации персонала, перестройки ролевых матриц между приёмосдатчиком, оператором поста и диспетчером и регламентации «порогов» для автоматических решений. Практика показывает, что полезный эффект максимален при комбинировании аппаратных «ворот» и алгоритмической поддержки операторских решений, когда правила выдачи актов и изменения статусов привязаны к формализованным признакам нарушений [2]. Эффекты становятся устойчивыми при наличии повторного контроля качества данных и единых справочников для идентификаторов вагонов, грузов и клиентов в АСУ перевозочного процесса, ЭТРАН и корпоративных системах участников, иначе риск рассогласования записей возвращает разногласия в коммерческий оборот [3]. В результате коммерческая работа станции перестраивается от последовательных ручных действий к управляемому «поток событий», где каждое событие имеет цифровой след и юридическую силу.

Цифровой документооборот, автоматизированный коммерческий осмотр и предиктивная диагностика меняют коммерческую работу станции из набора ручных операций в управляемый цифровой процесс с измеримой отдачей; цитируемые исследования фиксируют доказуемые эффекты в сокращении времени приёма вагонов, росте точности фиксации нарушений и юридической устойчивости оформления перевозки. Приоритет в ближайшей перспективе – связать аппаратные «ворота» с юридически значимыми электронными формами и обеспечить устойчивую передачу данных, чтобы каждый коммерческий факт имел проверяемый цифровой след.

Библиографический список

1. Васильевская, М. С. Разработка комплекса диагностирования подвижного состава электродепо метрополитена с применением тепловизионных и электронных средств / М. С. Васильевская, А. Е. Цаплин // Бюллетень результатов научных исследований. – 2025. – № 2. – С. 133–144. – URL : <https://izvestiapgups.editorum.ru/ru/nauka/article/100573/view> (дата обращения: 07.10.2025). – Текст : электронный.

2. Воропай, В. С. Применение автоматизированной системы коммерческого осмотра поездов и вагонов / В. С. Воропай, В. А. Брылин // Технологический аудит и резервы производства. – 2019. – URL : https://tstt.ust.edu.ua/article/download/182579/pdf_171/406893 (дата обращения: 07.10.2025). – Текст : электронный.

3. Кобозева, Н. Г. Развитие транспортных систем в условиях внедрения цифровой государственной информационной системы «Электронные перевозочные документы» / Н. Г. Кобозева // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 12. – С. 6009–6018. – URL : <https://1economic.ru/lib/120494> (дата обращения: 09.10.2025). – Текст : электронный.

4. Смирнов, Ф. А. Автоматизация приема вагонов к перевозке: система управления и нейросетевая модель / Ф. А. Смирнов, А. В. Новичихин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21, вып. 3. – С. 670–685. – URL : <https://atjournal.ru/en/storage/download/169832> (дата обращения: 13.10.2025). – Текст : электронный.

5. Фролова, С. Е. Архитектура системы автоматизированного распознавания единиц подвижного состава / С. Е. Фролова, Д. В. Бондарь. – (Научная статья, рус.). – 2021. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-sistemy-avtomatizirovannogo-raspoznavaniya-edinit-podvizhnogo-sostava> (дата обращения: 15.10.2025). – Текст : электронный.

6. Шнепс-Шнеппе, М. А. О перспективах сети GSM-R для цифровой железной дороги / М. А. Шнепс-Шнеппе, В. В. Затемиров // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-perspektivah-seti-gsm-r-dlya-tsifrovoy-zheleznoy-dorogi> (дата обращения: 15.10.2025). – Текст : электронный.

Д. В. Клабуков, Н. В. Эрлих

*Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИОРИТЕТОВ ПРОПУСКА ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ОКОН» И СНИЖЕНИЯ ПРОСТОЕВ

В статье рассматривается влияние изменения приоритетности пропуска поездов на эффективность использования технологических окон и снижение простоев техники. Особое внимание уделяется хозяйственным поездам, выполняющим путевые и ремонтно-строительные работы. Предлагается вариант повышения приоритета хозяйственных поездов с целью сокращения времени их простоя, улучшения использования технологических окон и повышение общей эффективности инфраструктуры. Приведены расчётные данные, нормативные диаграммы, иллюстрирующие эффект предложенного изменения.

Ключевые слова: железная дорога, приоритет пропуска поездов, хозяйственные поезда, простой, диспетчеризация.

Целью данной работы является исследование влияния изменения приоритета хозяйственных поездов на эффективность использования технологических окон и снижение простоев на железнодорожной сети. Для достижения поставленных целей необходимо выполнить следующие задачи:

1. Проанализировать действующую систему приоритетов пропуска поездов на железной дороге;
2. Разработать модель изменения приоритета хозяйственных поездов;
3. Оценить влияние изменения приоритета хозяйственных поездов на эффективность исполнения окон и снижение простоев.

Железнодорожный транспорт России является основой составляющей транспортной системы страны, обеспечивая более 45 % грузооборота. Современная составляющая железнодорожной сети характеризуется высокой интенсивностью движения – это связано с ростом перевозок и большим вагонным парком, что приводит к ограниченным возможностям для проведения путевых работ. Для обеспечения безопасного и бесперебойного транспортного процесса применяются технологические окна – это специально выделенные интервалы времени, в течение которых движение поездов по определенным путям ограничивается или полностью прекращается, такие промежутки позволяют выполнять плановые ремонты инфраструктуры, а также устранять возникающие де-

фекты устройств, например износ рельсошпальной решетки, либо замену контактной сети, в связи с нарушением изоляции. Организация пропуска поездов регулируется рядом документов, включая: ПТЭ, Положение о системе ведения путевого хозяйства и Инструкцию о порядке предоставления технологических окон [4].

Эффективность использования технологических окон напрямую зависит от приоритетности пропуска хозяйственных поездов. В настоящее время хозяйственные поезда имеют низкий приоритет, что приводит к значительным потерям времени и снижению производительности путевых работ. В соответствии с «Правилами технической эксплуатации Приложением 2 Инструкции по организации движения поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте РФ», приоритетность поездов устанавливается следующим образом [1]:

1. Внеочередные перевозки, осуществляемые для восстановления пропуска поездов и тушения пожаров;

2. Военские перевозки;

3. Перевозки пассажиров в дальнем следовании;

4. Перевозки пассажиров в пригородном сообщении;

5. Перевозка почтовых отправлений, багажа, грузобагажа

6. Специальные перевозки;

7. Грузопассажирские перевозки;

8. Перевозки грузов (грузовые, хозяйственные поезда)

Такое распределение обусловлено экономическими приоритетами, но не всегда соответствует задачам по поддержанию инфраструктуры сети железных дорог. Длительное ожидание хозяйственных поездов у светофоров, станций и перегонов снижает эффективность использования выделенных окон и может приводить к срыву графика ремонтных работ.

Анализ работы дистанций пути показывает, что на участках с высокой плотностью движения (например, Московская железная дорога) время ожидания хозяйственных поездов для входа в окно может достигать 1,5–2 часов. Это связано с необходимостью пропуска приоритетных составов и ограниченной возможностью перестройки графика движения. По данным «Положения о системе ведения путевого хозяйства ОАО РЖД», потери рабочего времени вследствие ожидания допуска составляют до 25 % от длительности окна. В результате фактическая продолжительность работ сокращается, а общая эффективность снижается [3].

Для повышения эффективности предлагается пересмотреть приоритет хозяйственных поездов, установив им более высокий уровень при определенных условиях: например, при проведении плановых путевых ремонтов или технологических окон высокой значимости. Это поз-

волит повысить коэффициент использования окон и уменьшить время простоя поездов. Моделирование произведено на основе усредненных данных дистанций пути с использованием нормативных значений из документов ОАО РЖД [5].

Для оценки эффективности предложенного решения использованы усредненные расчетные данные, основанные на анализе доступной для общего пользования отчетности дистанций пути. Модель показывает, что повышение приоритета хозяйственных поездов позволяет существенно сократить время простоя и повысить использование окон, данные сведены в таблицу (см. Таблицу ниже) [2].

Таблица

Анализ технологических окон

Показатель	До изменения	После изменения
Средний простой хозяйственных поездов, ч	1,4	0,6
Коэффициент использования окна	0,68	0,87
Количество реализованных окон за месяц	24	31
Количество задержек грузовых поездов	3	4

Для наглядности изобразим данные анализа в диаграммы, представленные на рис. 1-2.

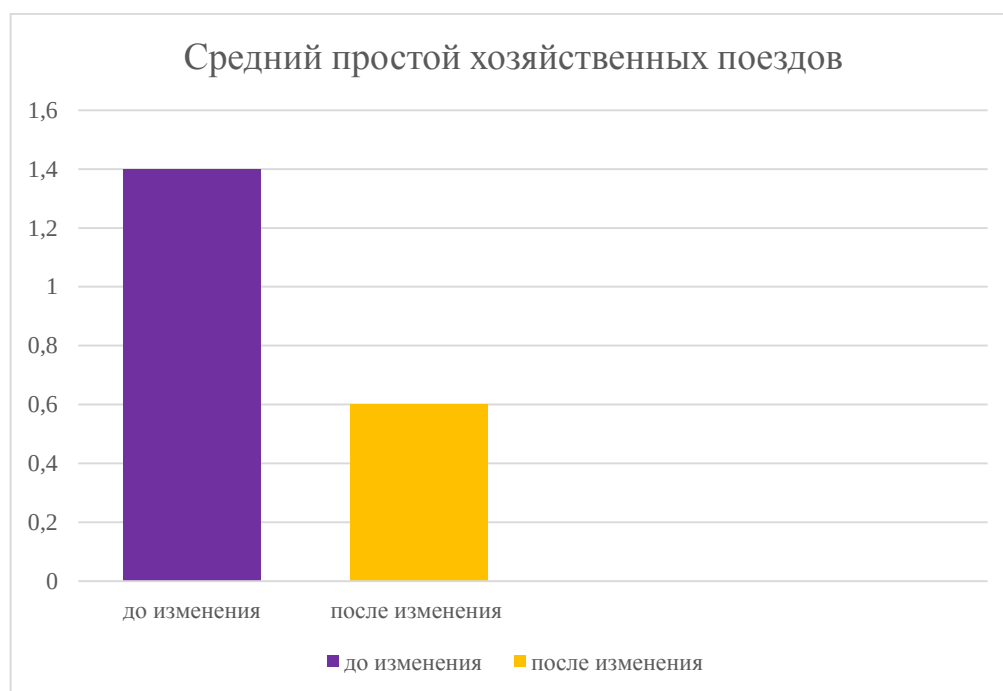


Рис. 1. Средний простой хозяйственного поезда

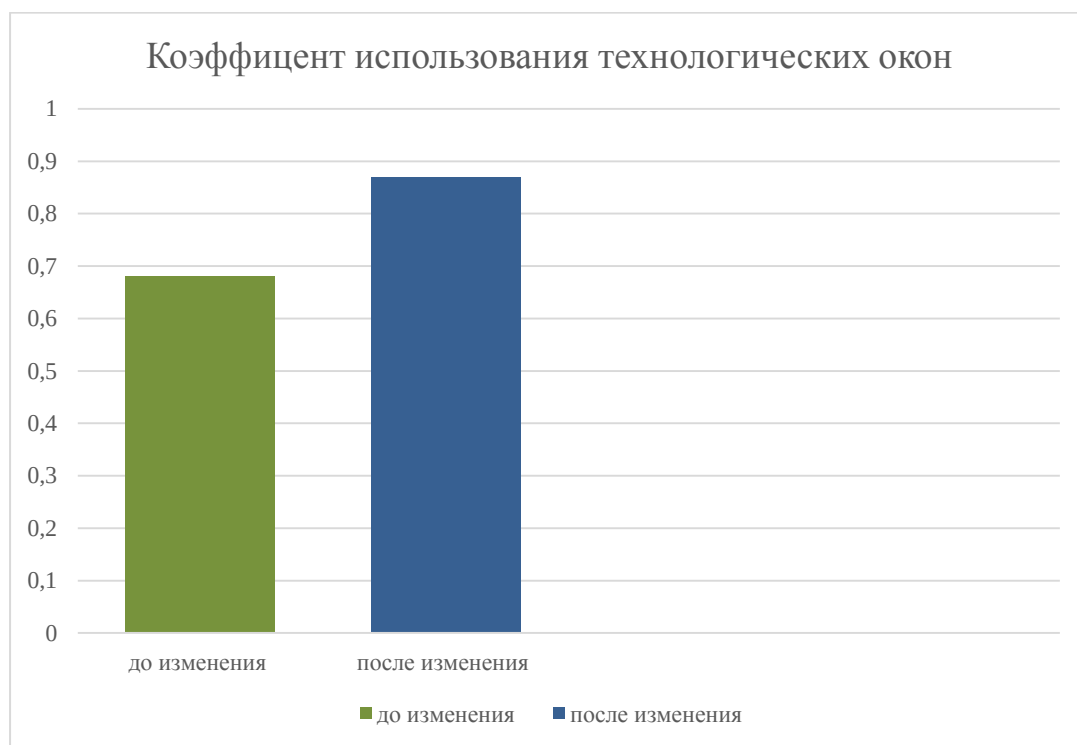


Рис. 2. Коэффициент использования технологических окон

Полученные результаты показывают, что изменение приоритета хозяйственных поездов оказывает положительное влияние на организацию путевых работ. Средний простой сократился более чем в два раза, что повышает эффективность использования техники и персонала. Несмотря на незначительное увеличение количества задержек грузовых поездов, общая пропускная способность сети остается стабильной. Согласно исследованиям РГУПС Калиткиной Т. Н., 2022 г., где указывается, что оптимизация приоритетов позволяет достичь 15–25 % повышения производительности ремонтных работ [5].

На основании всего изложенного можно сделать вывод:

1. Повышение приоритета хозяйственных поездов способствует увеличению эффективности использования технологических окон на 15–25 %.

2. Среднее время простоя хозяйственных поездов сокращается более чем в два раза.

3. Влияние на график движения грузовых поездов минимально и может быть компенсировано корректировкой диспетчерских графиков.

4. Предлагаемое изменение рекомендуется внедрить на участках с высокой плотностью движения и большим объёмов ремонтных работ.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [утверждены Приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250]. – Екатеринбург : ТД «УралЮрИздаст». – 528 с. – Текст : непосредственный.
2. Инструкция о порядке проведения предоставления технологических окон для проведения путевых работ РД 32 ЦД 113-П. – Москва : ОАО «РЖД», 2016. – Текст : непосредственный.
3. Положение о системе ведения путевого хозяйства ОАО «РЖД» РД 32 ЦД/527-П. – 2018. – Текст : непосредственный.
4. Инструкция по диспетчерскому управлению движением поездов ЦД-765. – 2020. – Текст : непосредственный.
5. Калиткина, Т. Н. Методы оптимизации графика движения при организации плановых окон / Т. Н. Калиткина. – Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. – 2022. – № 8.

М. И. Коновалова

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

С. В. Дружин, Е. В. Мартемьянова

*Забайкальская железная дорога,
г. Чита, Россия*

**ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ
В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ**

В статье представлены пути решения задач по организации перевозочного процесса в малонаселённых районах с незначительным объёмом грузовой работы. Проанализировав действующую на станциях Забайкальской магистрали технологию организации труда, определён перечень станций, в штат которых целесообразно ввести новые профессии: составитель поездов (универсал) и оператор информационных систем. Представлена модель приёма груза к перевозке с учётом внедрения новых профессий и автоматизации.

Ключевые слова: малодетальные станции; дефицит трудовых ресурсов; перевозочный процесс; составитель поездов (универсал); приёмосдатчик груза и багажа; оператор информационных систем; непро-

изводительные потери; коммерческий, технический осмотр; элементы простоя местного вагона; модель приёма груза к перевозке; новые профессии; автоматизированные системы.

На данный момент по всей сети железных дорог имеется острая проблема в дефиците трудовых ресурсов. При влиянии факторов снижения количества трудоспособного населения и урбанизации населения особо остро встаёт вопрос укомплектования кадрами железнодорожных станций, находящихся в отдалённых и труднодоступных районах. В условиях сохраняющегося дефицита трудовых ресурсов одной из ключевых задач становится поиск решений, позволяющих обеспечить устойчивую работу сети без снижения качества перевозочного процесса.

В статье представлены пути решения задач по организации перевозочного процесса в малонаселённых районах с незначительным объёмом грузовой работы. Проанализировав действующую на станциях Забайкальской магистрали технологию организации труда, определен перечень станций, в штат которых целесообразно ввести новые профессии составитель поездов (универсал) и оператор информационных систем. У персонала таких железнодорожных станций как Харанор, Оловянная и Уруша. Как правило, возникают непроизводительные потери рабочего времени и проблемы с укомплектованностью штата.

Опорная станция Харанор обслуживает малодеятельные станции Даурия и Билютуй. Локомотив, обслуживающий участок – вывозной локомотив станции Борзя. Штатная численность составителей поездов – 3 человека, оператор СТЦ, приемосдатчик груза и багажа отсутствуют. Схема обслуживания представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема обслуживания

Составитель поездов (ДСД) станции Харанор осматривает вагоны после выгрузки на станции Даурия, после погрузки на станции Билютуй (перевеска) с передачей информации по телефону РОРС оператору информационных систем станции Борзя для оформления перевозочных документов, производит ввод информации в автоматизированные системы, оформляет первичные документы. После формирования поезда по отправлению осматривает состав в коммерческом отношении, передает информацию оператору и ДСП станции отправления для формирования протокола (ГУ-99).

Оператор информационных систем станции Борзя (круглосуточно) при получении информации от ДСД (Харанор, Оловянная) производит оформление перевозочных документов, ввод информации в автоматизированные системы и оформление первичной документации (в АСУ СТ НП, ЭТРАН НП, ЕАСАПР М НП) с проставлением простой расширенной подписи (ПРЭП). Так же выполняет составление актов общей формы на брошенные (отставленные) поезда за станции Борзинского центра по уведомлению ДНЦ. Кроме того выполняется работа с местными и транзитными вагонами станции Соловьевск.

Увеличение простоя местного вагона по станции Даурия – на 4,14 ч, по станции Билютуй – на 2,28 ч (рис. 2).

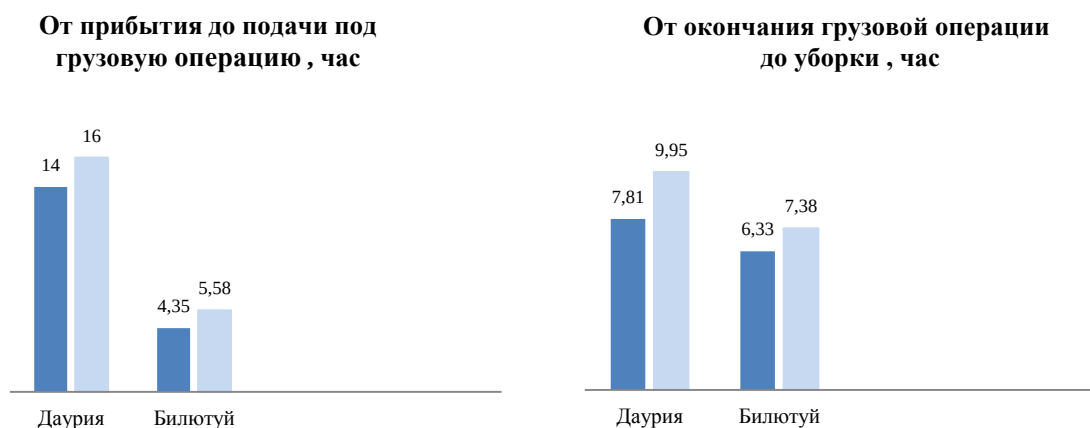


Рис. 2. Элементы простоя местного вагона

Увеличение простоя вызвано временем следования на места погрузки/выгрузки, приемом груза к перевозке, передачей информации оператору станции Борзя, после вывода вагонов на пути общего пользования сверкой вагонов с оператором, осмотром вагонов в коммерческом отношении.

Опорная станция Оловянная обслуживает малодеятельные станции Ясногорск-Забайкальский, Ясная и Бырка. Вывозной локомотив станции Оловянная. Штатная численность составителей поездов – 10 человека, оператор СТЦ – 1, приемосдатчик груза и багажа – 6 человек. Схема обслуживания представлена на рис. 3.

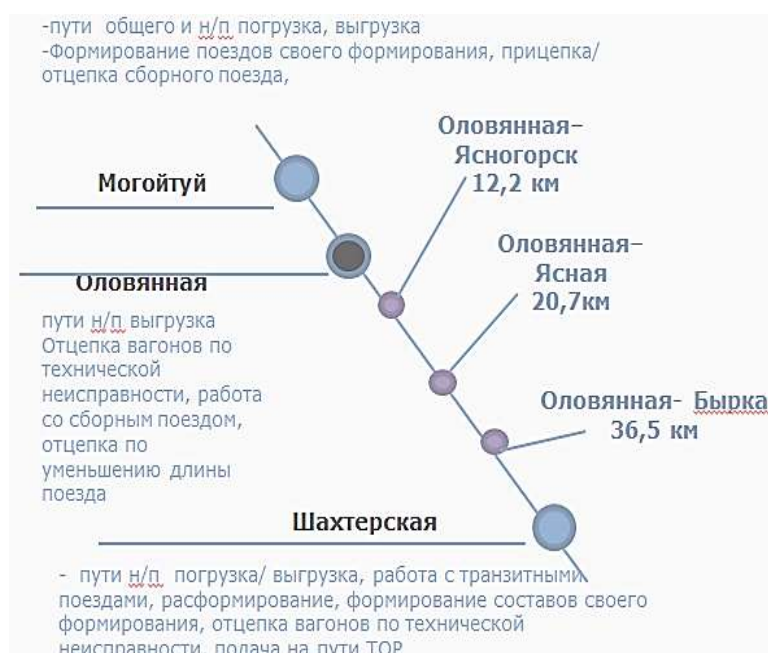


Рис. 3. Схема обслуживания

Составитель поездов производит прием вагонов после выгрузки по станции Оловянная (где отсутствует приемосдатчик груза и багажа), по станции Бырка в выходные и праздничные дни, прием груза к перевозке (погрузка), по станции Ясная выгрузка отсутствует. Передает информацию оператору информационных систем станции Борзя (круглосуточно).

Увеличение простоя по станции Ясная – на 0,2 ч (рис. 4). Увеличение простоя вызвано временем на передачу информации.

Аналогичная ситуация наблюдается на станции Уруша. Маневровый локомотив и составитель поездов станции Уруша обслуживают станции Сгибеево и Улягир. Уруша – Сгибеево 17,5 км, Уруша – Улягир 31,6 км. Штатная численность ДСПО – 5 человек, составитель поездов – 5 человек, ДС – 1 человек. Штатным расписанием на станциях Уруша, Сгибеево, Улягир должность приемосдатчика груза и багажа не предусмотрена.

Объем грузовой работы по станции Уруша за 2024 г. составил: погрузка – 83 вагона (0,2 – в сутки), выгрузка – 231 вагон (0,6 – в сутки).

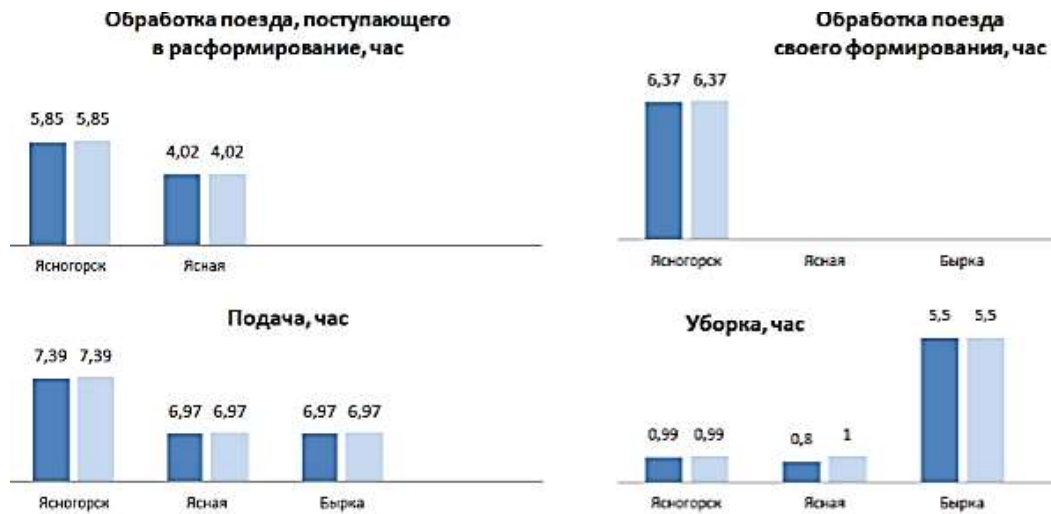


Рис. 4. Элементы простоя местного вагона

Начальник станции Уруша осуществляет проверку размещения и крепления грузов, погруженных по местным техническим условиям или непредусмотренным техническим условиям при приеме груза к перевозке, устранении коммерческих неисправностей. Приемосдатчик станции Сквородино по прибытию груженых (порожних) вагонов на станцию Уруша производит передачу в электронном виде грузополучателю уведомления формы ГУ-2вВЦ, формирует памятки ГУ-45ВЦ, после завершения грузовых операций оформляет ГУ-2аВЦ и ГУ-23ВЦ).

Модель приема груза к перевозке с учетом внедрения новых профессий и автоматизации будет выглядеть следующим образом: рис. 5.

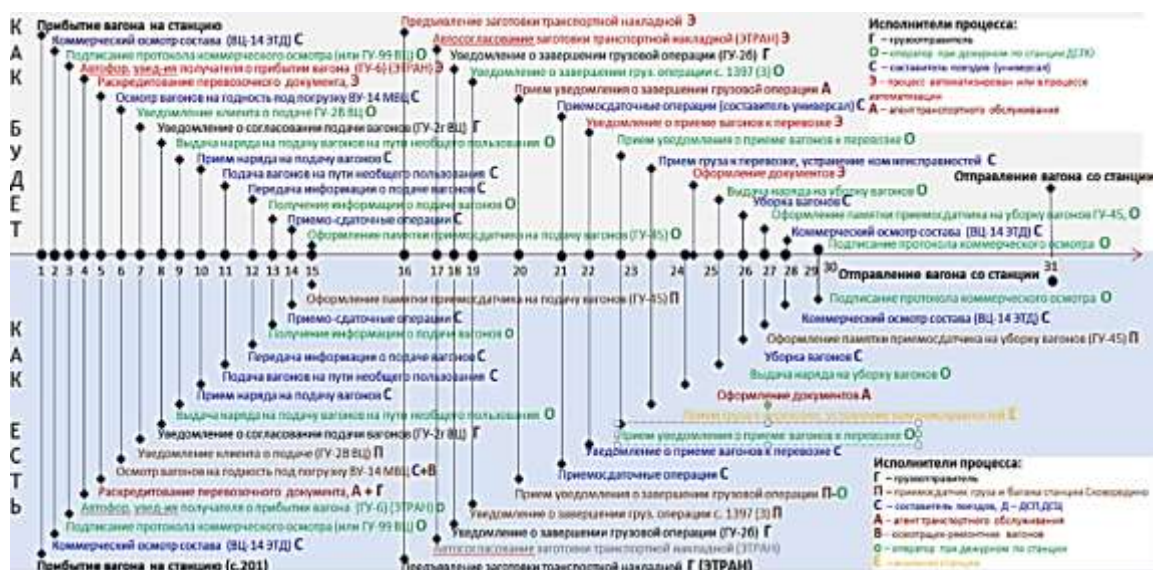


Рис. 5. Модель приема груза к перевозке с учетом внедрения новых профессий

Таким образом, предложенные мероприятия позволят решить проблему в дефиците трудовых ресурсов на малодеятельных направлениях Забайкальской магистрали без снижения качества перевозочного процесса.

Библиографический список

1. Приказ Минтруда России от 15.09.2022 № 551н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по организации управления движением поездов, производства маневровой работы на отдельных пунктах» [зарегистрировано в Минюсте России 17.10.2022 № 70548]. – Текст : непосредственный.
2. Приказ Минтруда России от 18.10.2022 № 673н «Об утверждении профессионального стандарта «Составитель поездов, кондуктор грузовых поездов» [зарегистрировано в Минюсте России 18.11.2022 № 71019]. – Текст : непосредственный.
3. [Сайт]. – URL : <http://zabzd.rzd.ru/> – Текст : электронный.

М. И. Коновалова, Н. С. Михайлова
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАБОТЕ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ

В статье рассмотрены перспективы развития грузовой тупиковой станции Краснокаменск. Произведён анализ инфраструктуры общего и необщего пользования. Определены среднесуточные вагонопотоки станции, представлен анализ погрузки и выгрузки за последние пять лет. Разработаны варианты технологии и определены показатели работы станции во взаимодействии с железнодорожными путями необщего пользования. Даны предложения по улучшению показателей работы станции в современных условиях с учётом применения инновационных технологий. Рассчитаны экономические показатели.

Ключевые слова: грузовая тупиковая станция; грузообразующая база; железнодорожные пути общего и необщего пользования; среднесуточные вагонопотоки; анализ погрузки, выгрузки; маршруты с углём; маршруты с рудой; показатели работы станции; инновационные технологии; модульные контейнеры; простой местного вагона, рабочий парк вагонов, срок окупаемости; экономическая эффективность.

В статье рассмотрены перспективы развития грузовой тупиковой станции Краснокаменск Забайкальской железной дороги, основной работой которой является обработка местного вагонопотока и выполнение грузовых операций. Все поезда, прибывающие на станцию, условно можно разделить на две категории: поезда, прибывающие в расформирование и поезда своего формирования, т. е. на станции зарождаются и погашаются вагонопотоки и грузопотоки.

Анализ инфраструктуры общего и необщего пользования, а также исследования клиентской и грузообразующей базы показали, что значительный объем работы станция выполняет во взаимодействии с железнодорожным путем необщего пользования ПАО «ППГХО». Среднесуточные вагонопотоки в адрес ветвевладельцев представлены в табл. 1.

Таблица 1

Среднесуточные вагонопотоки станции

Погрузка		Кр	Пл	Пв	Цс	Прочие
154		1	1	149	-	3
В т. ч. ГД	2	-	-	-	-	2
ПАО «ППГХО»	161	1	1	148	-	1
ИП «Наместников»	1	-	-	1	-	-
Выгрузка						
14		2	1	5	2	4
В т. ч. ГД	4	1	-	1	-	2
ПАО «ППГХО»	10	1	1	4	2	2
ИП «Наместников»	-	-	-	-	-	-

Количество погруженных и выгруженных вагонов и тонн груза за последние пять лет отражено в табл. 2.

Таблица 2

Анализ погрузки и выгрузки за пять лет

Период		Вагоны	Тонны	Всего за год, вагоны	Среднемесячная сумма (погрузка, выгрузка), вагоны
2020	погр	23967	1581822	28958	2413
	выгр	4991	329406		
2021	погр	26350	1694283	30630	2552
	выгр	4280	47418		
2022	погр	23822	1532561	27670	2305
	выгр	3848	192387		
2023	погр	22381	1532561	26729	2228
	выгр	4348	192387		
2024	погр	25969	1532561	31069	2590
	выгр	5100	192387		

Несмотря на снижение грузовой работы в период 2022 и 2023 гг., в настоящее время, наблюдается тенденция к увеличению. При этом одной из ключевых проблем станции является неравномерность работы с грузами, перерабатываемыми на ПАО «ППГХО». Так, в 2020 г. максимальное количество местных вагонов, перерабатываемых на станции, превышало 320 ваг/сут. при среднесуточном объеме 75,15 ваг/сут. В связи с тем, что погрузка угля имеет эпизодический характер в течение месяца и активно осуществляется на протяжении 15–20 суток, то в эти периоды подвод порожнего подвижного состава максимальный. Поэтому среднесуточный вагонопоток при погрузке маршрутов угля принимается равным 132 вагона в сутки (3 маршрута по 44 вагона), и дополнительная погрузка в количестве 17 вагонов осуществляется повагонными и групповыми отправлениями. На пути необщего пользования ПАО «ППГХО» выполняется погрузка угля для собственных нужд на ТЭЦ-1, которая в среднем составляет 60–66 вагонов в сутки.

В современных условиях, железнодорожный путь необщего пользования ПАО «ППГХО» намерен увеличить свои производственные мощности для выщелачивания из различной руды полезных минералов. Согласована переработка золотосодержащей руды для нужд компании ООО «Арт Вэй» в объеме до 1 млн т в год средствами мельниц комбината. Обсуждается единая технология с ООО «Краснокаменский гидрометаллургический комбинат», на основании которой в 2026-2027 гг. планируется организовать совместную работу по выщелачиванию руды первого класса с западных регионов страны. Кроме того, на финальной стадии находится заключение договора с компанией ООО «Арт Вэй» по организации перевозки и выщелачиванию из грунта марганцевой руды за счет мощностей ПАО «ППГХО». Предполагаемый объем уже в I квартале 2026 г. должен составлять до 100 тыс. т ежемесячно. Всего за два года должно быть переработано свыше 2 млн т руды с последующим ежегодным увеличением объемов до 2030 г. Вагоны с рудой будут ежесуточно прибывать на станцию Краснокаменск, после чего выставляться на пути станции Прм, откуда маневровым локомотивом ПАО «ППГХО» через станции Рдн, Звд будут подаваться под погрузку на станцию Стр.

Для организации совместной и слаженной работы подразделения ПАО «ППГХО» и железнодорожной станции Краснокаменск, в условиях увеличения объемов местного вагонопотока были разработаны варианты технологий, определены показатели работы станции во взаимодействии с путями необщего пользования и выявлены недостатки:

– обработка на станции и выгрузка на путях предприятия одного маршрута с рудой в количестве 48 вагонов превышает 31 ч вместо положенных 24 ч;

– ПАО «ППГХО», имея производственные мощности для переработки 48 вагонов в сутки, подает только шесть, не имея технической возможности, из-за отдаленности путей для их выгрузки;

– расстояние подачи вагонов составляет 15 км, что приводит к удорожанию транспортной логистики для ПАО «ППГХО» и, как следствие, к нерентабельности проекта.

Для организации эффективной работы с местными вагонами, прибывающими в адрес ПАО «ППГХО» предлагается произвести реконструкцию основных элементов станции. Чтобы сократить время на выгрузку одного маршрута с рудой, а также расходы на транспортную составляющую для ее транспортировки, предлагается построить дополнительные пути, примыкающие к станции и расположенные в непосредственной близости к месту проведения работ по выщелачиванию руды на территории ПАО «ППГХО». Для этого необходимо построить два железнодорожных пути общего пользования, один из которых, повышенный для выгрузки руды из полувагонов, а также три стрелочных перевода марки 1/9.

Кроме того, чтобы сократить время на выгрузку для перевозки руды компании ООО «АртВэй» со станции Мргц предлагается применить инновационные технологии путем использования модульных контейнеров разработки АО «ВНИИЖТ» (см. Рисунок).



Рисунок. Инновационные технологии в транспортировке руды

Модульные контейнеры позволяют осуществлять погрузку сразу на карьере, доставлять автомобилями до станции погрузки, где организовывать загрузку в полувагоны или на платформы непосредственно контейнеров. Данная логистика исключает двойной перегруз руды, что снижает естественную убыль и в целом оптимизирует процесс. На стан-

ции выгрузки, данная технология позволяет сократить время на выгрузку, использовать доставку контейнеров с рудой непосредственно к месту выщелачивания, что также сокращает время на обработку вагонов.

Маршрут с вагонами, загруженными рудой, после прибытия на станцию Краснокаменск и осмотра бригадами ПКО и ПТО будет подаваться одной группой на железнодорожные пути общего пользования 1Г, 2Г по 24 вагона на каждый. На повышенном пути 2Г силами перевозчика (сотрудников МЧ) руда из вагонов будет перегружена в автомобили предприятия ПАО «ППГХО», которые доставят ее на место выщелачивания на территорию комбината. Расстояние доставки автотранспортом не превышает 1 км. Данная технология позволит сократить расходы на транспортную составляющую для ПАО «ППГХО», что приведет к рентабельности проекта и принятии решения о его реализации.

На основе приведённого анализа показателей работы станции можно сделать следующие выводы:

- простой местного вагона на станции сократился на 2,25 ч;
- рабочий парк вагонов уменьшился на 20 вагонов.

В результате проведенных мероприятий вагоны с рудой выгружаются не более 22 часов, следовательно, станция и предприятие ПАО «ППГХО» готовы переработать запланированные объемы груза, обеспечив при этом ритмичную и непрерывную работу.

Срок окупаемости проекта составил менее пяти лет, следовательно, его реализация экономически целесообразна.

Также положительным экономическим эффектом для компании ОАО «РЖД» является тот факт, что вагоны будут выгружаться силами перевозчика, что приведет к привлечению дополнительного дохода от погрузо-разгрузочных операций.

Библиографический список

1. Техническо-распорядительный акт железнодорожной станции Краснокаменск [утверждён 30.08.2023 г.]. – 114 с. – Текст : непосредственный.
2. Технологический процесс работы железнодорожной станции Краснокаменск [утверждён 06.12.2016 г.]. – 123 с. – Текст : непосредственный.
3. Технологический процесс работы диспетчерского центра управления перевозками Забайкальской дирекции управления движением [утверждён 30.06.2023 г.]. – 319 с. – Текст : непосредственный.
4. [Сайт]. – URL : <http://zabzd.rzd.ru/> – Текст : электронный.

С. Д. Подолинная, И. А. Логинов

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
г. Хабаровск, Россия*

ПРИГРАНИЧНАЯ ТЕРМИНАЛЬНО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Статья посвящена комплексному анализу текущего состояния и перспектив развития терминально-логистической инфраструктуры приграничных территорий. В работе рассмотрены проблемы, препятствующие эффективному функционированию трансграничных логистических узлов, такие как технологическое отставание, дисбаланс грузопотоков, инфраструктурные ограничения и административные барьеры. На примере стратегически значимых пунктов пропуска выявлены узкие места в функционировании терминально-логистической инфраструктуры. Обоснована необходимость модернизации данных пунктов пропуска для повышения их пропускной способности и эффективности. В работе предложены конкретные направления развития: внедрение цифровых технологий, оптимизация мультимодальных перевозок, расширение международной координации и совершенствование методов оценки эффективности терминально-логистических объектов. Результаты исследования представляют практическую ценность для органов государственного управления, логистических компаний и участников внешнеэкономической деятельности.

Ключевые слова: логистика, цепь поставки, внешнеэкономическая деятельность, таможенно-логистическая инфраструктура, международные отношения, транспортные коридоры, терминально-логистический комплекс.

Развитие приграничной терминально-логистической инфраструктуры (ПТЛИ) является стратегически важным направлением для стран, активно участвующих в международной торговле. В условиях глобализации мировой экономики и роста объемов международной торговли эффективное функционирование приграничных транспортно-логистических узлов является важным фактором для обеспечения конкурентоспособности национальной экономики. Особую значимость эта проблема приобретает в контексте развития международных транспортных коридоров, где пропускная способность и технологический уровень терминальной инфраструктуры непосредственно определяют эффективность трансграничных перевозок. Утверждена Концепция внешней по-

литики Российской Федерации, актуализирующая приоритетные направления и задачи внешнеполитической деятельности [1].

Современное состояние приграничной терминально-логистической инфраструктуры характеризуется наличием ряда системных проблем, таких как технологическое отставание, недостаточная координация между участниками логистических процессов, недостатки в управленческих решениях и неразвитость цифровой инфраструктуры. Интенсификация грузопотоков в восточном направлении обусловила повышенную нагрузку на транспортную систему Дальневосточного федерального округа, что актуализировало задачу развития терминально-логистической инфраструктуры в контексте достижения целевых показателей российско-китайского товарооборота в 200 млрд долларов с перспективой роста до 280 млрд к 2026-2027 гг. [2]. Эти факторы требуют комплексного научного анализа и разработки перспективных направлений развития, что обуславливает актуальность данного исследования. Анализ научных исследований показал значительный прогресс в изучении различных аспектов формирования и развития приграничной терминально-логистической инфраструктуры. В работах отечественных и зарубежных исследователей всесторонне освещены следующие вопросы:

- теоретико-методологические аспекты разработки логистических систем и инфраструктурных объектов;
- методики оценки эффективности функционирования транспортно-логистических центров;
- организационные механизмы управления цепями поставок в пограничных зонах;
- влияние таможенного администрирования на пропускную способность пограничных переходов.

Несмотря на значительный объем исследований, посвященных развитию логистической инфраструктуры, остаются недостаточно изученными следующие аспекты:

- комплексное взаимодействие элементов ПТЛИ в условиях цифровой трансформации экономики;
- синергетический эффект от интеграции терминальных мощностей сопредельных государств;
- адаптационные механизмы ПТЛИ к изменяющимся условиям международной торговли;
- методики оценки устойчивости развития приграничной логистической инфраструктуры в условиях неопределенности;
- оптимальные модели государственно-частного партнерства в развитии трансграничных терминальных комплексов.

Совершенствование методологического обеспечения оценки экономической результативности является ключевым фактором стратегического развития территорий со особым экономико-географическим положением [3]. Практическим применением данных методик выступает разработка новых подходов к выбору мест размещения транспортно-логистических центров Дальнего Востока. В работе [4] был представлен и разработан метод факторно-аналитической оценки, который направлен на оценку и поиск потенциального места размещения терминально-логистического объекта.

В контексте обозначенных вызовов особый научный и практический интерес представляет анализ конкретных приграничных территорий Дальневосточного федерального округа, обладающих значительным логистическим потенциалом. Стратегически важные пункты пропуска, такие как Забайкальск – Маньчжурия и Пограничный – Гродеково, играют ключевую роль в обеспечении значительной доли товарооборота между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой. В частности, железнодорожный терминал в Забайкальске является одним из наиболее интенсивно используемых логистических узлов, где осуществляется обработка контейнерных и насыпных грузов. Однако, несмотря на стратегическую значимость этих пунктов, существующие инфраструктурные ограничения, включая устаревание погрузочно-разгрузочных сооружений, приводят к возникновению периодических заторов и увеличению транзитных издержек. Необходимо соответствующее транспортно-логистическое развитие для разгрузки пунктов пропуска и повышения эффективности международной торговли [5].

В контексте интеграции в глобальные цепочки поставок на Дальнем Востоке особое значение приобретают транспортные коридоры «Приморье-1» и «Приморье-2», которые обеспечивают мультимодальные транспортные операции, связывая российские морские порты Владивосток и Находка с северными провинциями КНР. Тем не менее, текущая пропускная способность данных коридоров не соответствует растущему объему торговых операций, что обуславливает необходимость расширения терминальных мощностей и оптимизации логистических процессов. В сфере автомобильных перевозок через пункты пропуска, такие как Харанор и Краскино, наблюдается значительный рост грузооборота, особенно в направлении экспорта сельскохозяйственной продукции.

Увеличение объемов торговли скоропортящимися товарами привело к существенной нагрузке на холодильные склады и вызвало необходимость ускорения процедур таможенного контроля. Одновременно с ростом грузопотока, отсутствие нормативно-правовой базы меж-

ду Россией и сопредельными государствами создало проблему усложняющую организацию трансграничных перевозок. Увеличение пропускной способности Транссибирской железнодорожной магистрали и Байкало-Амурской магистрали (БАМ) объективно способствовало росту объемов контейнерных перевозок между Европой и Азией через территорию Российской Федерации. Тем не менее, проблема совместимости стандартов железнодорожной колеи между Россией и Китаем остается актуальной и требует дополнительных инвестиций в модернизацию перегрузочных мощностей на пограничных терминалах. Таким образом, дальнейшее развитие железнодорожной инфраструктуры в приграничных регионах является стратегически важным направлением, способствующим повышению конкурентоспособности транспортной системы Российской Федерации и укреплению ее позиций в глобальной логистической сети.

В контексте развития международных транспортных коридоров наблюдается комплексное освоение приграничных территорий, включая кооперацию сопредельных регионов в сферах туризма, торговли и формирования единых производственных кластеров [6]. Данный процесс способствует увеличению миграционного притока и активизации инвестиционной деятельности в приграничных зонах. Как отмечают исследователи, синергетический эффект от взаимодействия элементов территориально-производственных систем создает предпосылки для ускоренного развития регионов с оптимизацией временных параметров реализации проектов.

В этой связи определение оптимальных параметров уровня развития ТЛО приобретает особую значимость для создания эффективной логистической системы региона [7]. Проведенный анализ позволяет выделить несколько ключевых проблем, влияющих на эффективность пограничных терминалов России:

- недостаточный потенциал инфраструктуры. На многих пограничных терминалах в России отсутствует необходимая инфраструктура для обработки растущего объема внешнеторговых грузов. Ограниченные складские площади, устаревшее погрузочно-разгрузочное оборудование и неадекватное автомобильное и железнодорожное сообщение способствуют заторам и задержкам. Эта проблема особенно остро стоит на ключевых пограничных переходах с Китаем, Казахстаном и ЕС, где в последние годы наблюдается резкий рост трафика;

- длительные таможенные процедуры. Несмотря на усилия по цифровизации, ручная проверка документов, недостаточная автоматизация и несогласованность правил между торговыми партнерами приводят к увеличению сроков обработки. Эти недостатки повышают

транспортные издержки и снижают конкурентоспособность России в международной торговле;

- ограниченная технологическая модернизация. Медленное внедрение современных логистических технологий, таких как автоматизированное отслеживание грузов, электронный обмен документами и управление трафиком с помощью искусственного интеллекта, ограничивает эффективность работы;

- дефицит квалифицированных кадровых ресурсов, включая специалистов таможенного администрирования, логистического менеджмента и технического персонала. Отсутствие системного подхода к профессиональной подготовке обуславливает рост операционных ошибок, снижение скорости обработки грузов и ограничивает внедрение современных логистических технологий.;

- сезонные и погодные сбои. Суровые погодные условия, такие как обильные снегопады в Сибири и на Дальнем Востоке России, нарушают движение грузов, вызывая задержки на пограничных терминалах. Сезонные колебания объемов торговли, особенно в пиковые периоды, также приводят к перегрузкам на терминалах, что усугубляет проблему перегруженности;

- отсутствие координации между ведомствами. Пограничные терминалы подчиняются нескольким государственным органам, включая таможенную, транспортные службы и службы безопасности. Слабая координация между этими структурами приводит к избыточным проверкам, непоследовательному соблюдению правил и неоправданным задержкам в обработке грузов;

- геополитические проблемы и проблемы, связанные с санкциями. Санкции и геополитическая напряженность влияют на развитие пограничных терминалов, ограничивая доступ к иностранным инвестициям, передовому оборудованию и международному партнерству. Торговые ограничения, введенные западными странами, вынуждают Россию перенаправлять грузопотоки на альтернативные рынки, что требует корректировки инфраструктуры пограничных терминалов, что не всегда возможно в краткосрочной перспективе;

- узкие места на железнодорожном и автомобильном транспорте. Железнодорожные и автомобильные сети, ведущие к пограничным терминалам, часто имеют узкие места, что ограничивает пропускную способность грузов. Неэффективность мультимодальных транспортных решений еще больше усложняет логистику, поскольку задержки в работе одного вида транспорта влияют на всю цепочку поставок.

Для эффективного решения вышеуказанных проблем требуется реализация комплексных инвестиций в инфраструктуру, проведение реформ в сфере регулирования, технологическая модернизация и расширение международного сотрудничества. Эти меры направлены на повышение операционной эффективности российских пограничных терминалов, которые функционируют на пределе своих возможностей в условиях увеличения объемов внешнеторговых грузов. Ограниченность железнодорожной и автомобильной транспортной инфраструктуры, дефицит погрузочно-разгрузочного оборудования и складских площадей приводят к образованию заторов на ключевых пунктах пропуска. Это негативно сказывается на логистической цепочке и снижает конкурентоспособность российской торговли на глобальном рынке.

Модернизация транспортной инфраструктуры, обеспечивающей транспортировку значительных объемов грузов, является критически важным фактором для поддержания и повышения конкурентоспособности российской экономики в условиях глобализации и усиления международной конкуренции. Для проведения детального анализа объемов и структуры грузовых потоков необходимо осуществить оценку динамики внешней торговли России с другими странами (см. Рисунок).



Рисунок. Диаграмма экспорта и импорта

Объем экспорта Российской Федерации в Китайскую Народную Республику и другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона демонстрирует значительный рост, в то время как объем импорта сохраняет относительно низкие показатели. Диспропорции в логистических потоках приводят к снижению эффективности, особенно в сфере железнодорожных перевозок, где возврат порожних контейнеров влечет за собой рост операционных затрат. Разработка инновационных стратегий оптимизации использования контейнерного парка и балансировки товаропотоков является приоритетной задачей для специалистов по приграничной логистике. Геополитическая и экономическая конъюнктура существенно повлияла на состояние инфраструктуры российских пограничных терминалов. Введенные торговые санкции, трансформации глобальных цепочек поставок и региональные конфликты обусловили необходимость диверсификации торговых маршрутов, что потребовало развития альтернативных логистических коридоров. Прогнозируется, что активизация торговых отношений со странами Азиатско-Тихоокеанского региона, Ближнего Востока и Африки будет способствовать дополнительным инвестициям в модернизацию инфраструктуры пограничных терминалов.

Будущее российской пограничной инфраструктуры и логистической системы зависит от продолжения инвестиций в модернизацию, реформирования регуляторной базы и внедрения новейших технологических решений. В настоящее время осуществляется ряд стратегических инициатив, направленных на устранение существующих недостатков и стимулирование роста торговли. Реализуемые проекты предусматривают расширение пропускной способности ключевых пограничных терминалов, включая Забайкальск, Гродеково и Находку. Эти инициативы включают строительство дополнительных железнодорожных подъездных путей, внедрение автоматизированных систем обработки грузов и создание интегрированных логистических комплексов, что обеспечит беспрепятственное функционирование трансграничной торговли. Ожидается, что расширение логистических центров в приграничных регионах также снизит транспортные заторы на основных контрольных пунктах.

Развитие мультимодальной логистики является одним из приоритетных направлений. Интеграция железнодорожных, автомобильных и морских транспортных систем является необходимым условием для повышения эффективности грузоперевозок. Инвестиции в интермодальные терминальные комплексы и логистические центры способствуют улучшению взаимодействия между различными видами транспорта, сокращению времени транзита и оптимизации логистических операций. Создание внутренних контейнерных терминалов в непосредственной близости

от пограничных переходов будет содействовать дальнейшей консолидации и рациональному распределению грузов. Основными преимуществами создания и развития приграничной транспортно-логистической инфраструктуры является возможность консолидации ресурсов для ускорения перемещения грузов, повышения безопасности и внедрения интеллектуальных технологий [8].

Российская Федерация активно сотрудничает с соседними государствами в целях унификации таможенных регламентов, оптимизации процедур международной торговли и реализации совместных логистических инициатив. Расширение соглашений о зонах свободной торговли и трансграничных экономических пространствах будет способствовать повышению эффективности функционирования пограничных терминалов. Примером таких усилий является проект железнодорожного моста через реку Амур на участке Нижнеленинское (Россия) – Тунцзян (Китай), который направлен на укрепление трансграничного сообщения и расширение торгово-экономического потенциала.

Российские пограничные терминалы и объекты логистической инфраструктуры представляют собой ключевые элементы национальной системы внешнеэкономической деятельности, обеспечивающие эффективное функционирование международных торговых потоков. Несмотря на достигнутые успехи в модернизации основных пограничных терминалов, сохраняются определенные вызовы, связанные с ограниченными пропускными способностями, совершенствованием нормативно-правовой базы и интеграцией технологических решений. Перспективные направления развития включают увеличение пропускной способности терминалов, оптимизацию мультимодальных перевозок, внедрение передовых цифровых технологий и укрепление регионального сотрудничества. Эти меры направлены на повышение эффективности и конкурентоспособности российской логистической сети на границе. Продолжение инвестиций в вышеуказанные области будет иметь стратегическое значение для поддержания роста внешнеторговых объемов Российской Федерации и укрепления ее позиций в глобальных цепочках поставок.

Библиографический список

1. Указ об утверждении Концепции внешней политики Российской Федерации № 229 от 31.03.2023. – URL : <http://kremlin.ru/events/president/news/70811>. – Текст : электронный.
2. Стратегическое представление цифровой трансформации транспортно-логистической экосистемы Дальневосточного региона / Р. Г. Король, Н. А. Самсонова, М. В. Холоша, Н. С. Нестерова. – Текст : непо-

средственный // Транспортное дело России. – 2023. – № 5. – С. 8–11. – DOI 10.52375/20728689_2023_5_8. – EDN EFWCVQ.

3. Король, Р. Г. Экономическая оценка развития приграничных транспортно-логистических объектов / Р. Г. Король. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт и технологии : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 27–28 ноября 2024 г. – Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 311–313. – EDN JUXLWF.

4. Подолинная, С. Д. Метод факторно-аналитической оценки потенциальных мест размещения транспортно-логистических объектов / С. Д. Подолинная, Р. Г. Король. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2 (98). – С. 231–242. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_231. – EDN NFVVXY.

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

6. Дудакова, А. В. Перспективы развития приграничных территорий в рамках международных транспортных коридоров / А. В. Дудакова, Р. Ю. Упырь. – Текст : непосредственный // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 22–23 мая 2024 г. – Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 230–234. – EDN KIXXBC.

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

8. Король, Р. Г. Организация приграничных транспортно-логистических кластеров / Р. Г. Король. – Текст : непосредственный // Современные тенденции развития транспортной отрасли : материалы II международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 20–21 февраля 2025 г. – Нижний Новгород : Приволжский государственный университет путей сообщения, 2025. – С. 453–458. – EDN CONCHM.

Е. Д. Псеровская, Д. А. Басманов
*Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия*

РАСЧЁТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ В РАМКАХ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОПОРНЫХ СТАНЦИЯХ

Высокая загруженность и дефицит пропускных и провозных способностей железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона в современных условиях существенно повышают актуальность вопроса совершенствования системы организации вагонопотоков. В статье рассматривается возможность организации вагонопотоков с углём, не охваченных отправительской маршрутизацией, в маршрутные поезда, формирование которых осуществляется на специально выделенных опорных станциях полигона дороги 3. Представлены результаты расчёта продолжительности формирования многогруппного маршрутного поезда из вагонов назначением на железнодорожные станции дороги Д.

Ключевые слова: перевозки угля, маршрутизация перевозок, Восточный полигон, технология формирования многогруппных поездов.

Маршрутизация на опорных станциях представляет собой технологию организации угольных вагонопотоков, при которой вагоны с разных станций погрузки в местных поездах доставляются на специально выделенную опорную станцию, где осуществляется накопление и формирование маршрута установленной массы и (или) длины. Такой способ организации вагонопотоков имеет схожесть со ступенчатой маршрутизацией, теоретические основы которой были отражены в научных трудах В.Т. Осипова и Н.Е. Борового, но в то же время он имеет ряд отличительных особенностей:

- оперативный характер перенаправления вагонопотоков без внесения изменений в действующий план формирования поездов;
- задействование в качестве опорных станций небольших грузовых и промежуточных станций;
- возможность заключения дополнительных соглашений между перевозчиком и грузоотправителями на предъявление груза повагонными или групповыми отправлениями в строго установленные дни (система планирования маршрутизации) [1, 2, 3].

В качестве грузовой базы для данной технологии был выбран уголь, отправляемый со станций региона К дороги 3 повагонными и групповыми

ми отправлениями. Данный выбор объясняется возросшим уровнем потребности экономики в оптимизации технологии перевозки угля в восточном направлении и снижении себестоимости перевозки в целом, что отражено в «Антикризисной программе угольной промышленности Российской Федерации». В процессе анализа грузовой базы дороги 3 были выделены вагонопотоки суммарной мощностью более 100 вагонов в сутки назначением на станции, находящиеся в пределах одного региона дороги Д. Наличие данных вагонопотоков позволяет рассмотреть возможность формирования на опорных станциях маршрутов, которые напрямую проследуют на станцию расформирования, обслуживающую участок назначения.

Грузовые и промежуточные станции даже в периоды снижения объемов поездной и маневровой работы не обладают большим резервом свободных путей. В связи с этим для формирования многогруппных поездов на их инфраструктуре необходимо применять эффективные методы формирования, так к примеру, специальный алгоритм на основе аппарата комбинаторики, позволяет на двух свободных путях формировать за 7 сортировок составы с количеством групп до 34 [5]. Важным условием применения данного алгоритма является наличие определенного резерва времени в работе маневровых локомотивов.

С целью сокращения маневровой работы на станциях назначения важно обеспечить дополнительную группировку вагонов по каждому грузополучателю. В процессе анализа вагонопотока была разработана композиция расчетного маршрутного поезда в разрезе станций назначения и грузополучателей, представленная на Рисунке.

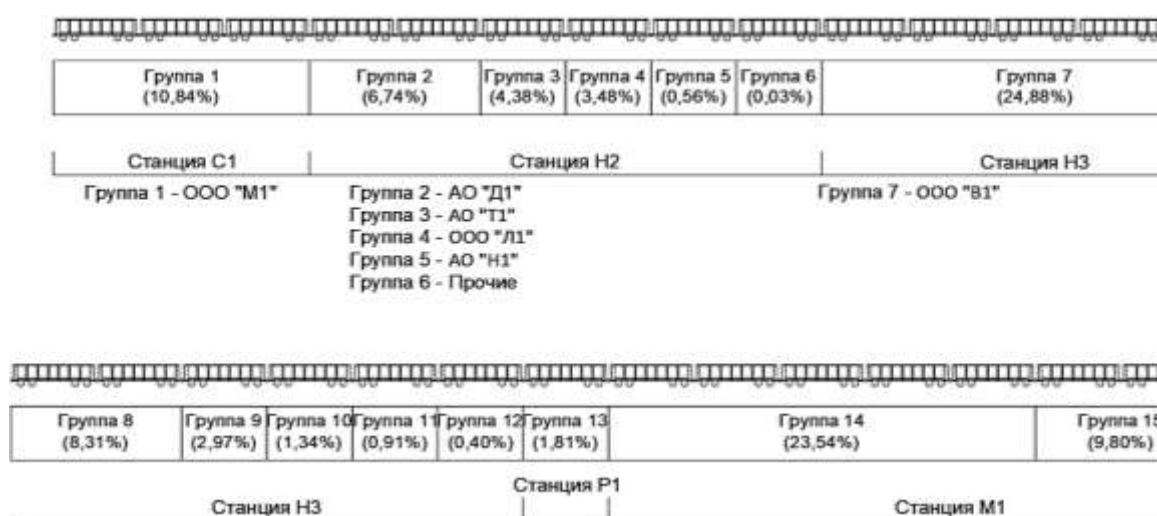


Рисунок. Композиция расчетного маршрутного поезда

Процесс формирования многогруппного состава включает в себя несколько сортировок и одну сборку вагонов после последней сортировки, поэтому время на формирование состава зависит от времени выполнения каждой сортировки вагонов $T_{\text{сорт } i}$ и времени сборки вагонов $T_{\text{сб}}$:

$$T_{\text{оф}}^{\text{мгс}} = f(T_{\text{сорт } 1}; T_{\text{сорт } 2}; \dots; T_{\text{сорт } i}; T_{\text{сб}}). \quad (1)$$

На технологическое время сортировки вагонов оказывает существенное влияние выбранный способ осуществления маневров, количество вагонов g_i и количество отцепов m_i :

$$T_{\text{сорт } i} = f(g_i; m_i). \quad (2)$$

Технологическое время на сборку вагонов коррелирует с количеством станционных путей p , с которых осуществляется перестановка вагонов, а также с количеством вагонов $m_{\text{сб}}$, переставляемых на путь сборки формируемого состава:

$$T_{\text{сб}} = f(p; m_{\text{сб}}). \quad (3)$$

Для выполнения расчета принято, что формируемый состав состоит из 71 вагона, при этом количество вагонов каждой группы примерно соответствует их доле в общем вагонопотоке (согласно Рисунку). Исходные данные о количестве вагонов каждой группы в составе представлены в табл. 1, расположение вагонов в составе – в табл. 2.

Таблица 1

**Исходные данные
о расчетном составе формируемого поезда**

№ группы	1	2	3	4	5	6	7	8
Доля в общем вагонопотоке, %	10,84	6,74	4,38	3,48	0,56	0,03	24,88	8,31
Количество вагонов в составе	7	5	3	2	1	1	17	5
№ группы	9	10	11	12	13	14	15	16
Доля в общем вагонопотоке, %	2,97	1,34	0,91	0,4	1,81	23,54	9,8	0,01
Количество вагонов в составе	2	1	1	1	1	16	7	1

Таблица 2

**Расположение вагонов в расчетном составе
перед началом формирования**

№ п/п	№ группы	Станция погрузки	№ п/п	№ группы	Станция погрузки	№ п/п	№ группы	Станция погрузки
1-4	8	A ₁	16	11	M ₃	32-47	7	K ₃
5-6	9	A ₁	17	16	M ₄	48-62	14	K ₃
7	12	A ₁	18-24	15	K ₂	63-65	3	K ₃
8-10	2	A ₁	25-27	1	K ₂	66	14	B ₁
11	4	A ₁	28	4	K ₂	67-68	1	B ₂
12	13	A ₁	29	6	K ₂	69	2	B ₂
13-14	1	M ₃	30	2	H ₄	70	5	B ₂
15	7	M ₃	31	10	П ₃	71	8	B ₂

В табл. 3 представлена последовательность выполнения сортировки вагонов с разбивкой каждой группы на отцепы.

Таблица 3

Последовательность выполнения сортировки расчетного состава

№ сортировки	Сортируемый состав	Размещение вагонов после каждой сортировки	
		№ пути	Размещение вагонов
I	<u>8,8,8,8</u> /9,9,12,2,2,2,4/ <u>13,1,1</u> /7/ <u>11,16</u> /15, 15,15,15,15,15,15/ <u>1,1,1</u> /4/ <u>6</u> /2/ <u>10</u> /7,7,7,7, 7,7,7,7,7,7,7,7,7,7/ <u>14,14,14,14,14,14,14,14,14,</u> <u>14,14,14,14,14,14,3,3,3,14,1,1</u> /2/ <u>5,8</u> $m_1 = 71$ вагон; $g_1 = 15$ отцепов	1	8,8,8,8,13,1,1,11,16,1,1,1,6,10,14,1 4,14,14,14,14,14,14,14,14,14, 14,14,14,3,3,3,14,1,1,5,8→
		2	9,9,12,2,2,2,4,7,15,15,15,15,15,15, 15,4,2,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7, 7,2
II	8,8,8,8,13/ <u>1,1,11</u> /16/ <u>1,1,1,6</u> /10/ <u>14,14,14,</u> <u>14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,14</u> /3,3, 3/ <u>14,1,1</u> /5,8 $m_2 = 37$ вагонов; $g_2 = 9$ отцепов	1	1,1,11,1,1,1,6,14,14,14,14,14,14, 14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,1,1
		2	9,9,12,2,2,2,4,7,15,15,15,15,15,15, 15,4,2,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7, 7,2,8,8,8,8,13,16,10,3,3,3,5,8→
III	9,9/ <u>12,2,2,2</u> /4/ <u>7,15,15,15,15,15,15</u> /4/ <u>2,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,2,8,8,8,8,</u> <u>13,16</u> /10/ <u>3,3,3</u> /5/ <u>8</u> $m_3 = 46$ вагонов; $g_3 = 10$ отцепов	1	1,1,11,1,1,1,6,14,14,14,14,14,14, 14,14,14,14,14,14,14,14,14,14,1,1, 12,2,2,2,7,15,15,15,15,15,15,15,2, 7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,7,2,8,8, 8,8,13,16, 3,3,3,8→
		2	9,9,4,4,10,5

на. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что регион К дороги 3 имеет существенное количество вагонов, не включенных в отправительскую маршрутизацию. Данный вагонопоток предлагается консолидировать на опорных станциях для формирования многогруппных маршрутов. При этом необходимым условием реализации предлагаемой технологии является выделение в оперативном режиме опорных станций, удовлетворяющих специально проработанной системе критериев. Резерв суточного времени работы маневрового локомотива в соответствии с проведенными расчетами должен составлять не менее 295 мин на состав, при этом также должно обеспечиваться наличие не менее двух свободных станционных путей установленной длины для накопления и выполнения маневровой работы по сортировке вагонов.

Библиографический список

1. Боровой, Н. Е. Маршрутизация перевозок грузов / Н. Е. Боровой. – Москва : Транспорт, 1978. – 215 с. ил.; 20. – Текст : непосредственный.
2. Осипов, В. Т. Маршрутизация перевозок грузов / В. Т. Осипов, Герой соц. труда. – Москва : Транспорт, 1973. – 199 с. : черт., карт.; 22 см. – Текст : непосредственный.
3. Рыженков, А. В. Организация местной работы в условиях формирования ступенчатых маршрутов на участках железных дорог : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / Рыженков Андрей Васильевич. – Москва, 2007. – 162 с. – EDN NONSAV. – Текст : непосредственный.
4. Потапов, П. Р. Интенсивная технология формирования многогруппных составов : методические указания по выполнению домашнего задания, дипломных проектов по дисциплине «Управление эксплуатационной работой» / П. Р. Потапов, Н. Б. Александрова, И. Н. Матвеева ; ред. А. В. Дмитренко ; Сибирский государственный университет путей сообщения. – Новосибирск : СГУПС, 2007. – 22 с. – Текст : непосредственный.
5. Нормирование маневровых работ, выполняемых на железнодорожном транспорте : методические указания / П. Р. Потапов [и др.]. – Новосибирск, 2011. – 65 с. – Текст : непосредственный.

М. П. Салазникова, Н. Е. Окулов, Н. В. Кащеева
*Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия*

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Стыки между железнодорожным и другими видами транспорта, особенно при перевозке экспортных грузов через морские порты и сухопутные погранпереходы РЖД, являются одним из узких мест в транспортной системе страны.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, морской порт, экспорт, груз, железнодорожная станция, перевозочный процесс, оператор, грузоотправитель, система, инфраструктура, взаимодействие, внедрение, планирование.

Нынешняя ситуация с переработкой экспортных грузов создает препятствия для привлечения международных транзитных перевозок, фактически отпугивая потенциальных клиентов. Основная причина кроется в отсутствии единого механизма, который бы обеспечивал слаженное и эффективное сотрудничество между всеми участниками логистической цепочки: владельцами грузов, железнодорожными компаниями, другими видами транспорта, экспедиторами и прочими. Наличие такого инструмента критически важно для повышения конкурентоспособности услуг, более эффективного использования инфраструктуры и подвижного состава, а также для минимизации рисков и неопределенности [1, 2].

Одной из ключевых трудностей в координации действий между железнодорожным транспортом и морскими перевозчиками является значительная несостыковка в номенклатуре товаров, используемой портооператорами и железными дорогами. Процесс подготовки подачи вагонов на железнодорожную станцию обусловлен необходимостью точного соответствия марок угля требованиям портовых стандартов. Например, железнодорожная классификация предусматривает лишь четыре вида угля, направляемых в порт Восточный, однако после прибытия на железнодорожную станцию перечень расширяется до тридцати позиций. Это создает значительные трудности при обработке маршрутов, сформированных на другой железнодорожной станции, состоящих из однородных партий угля, поскольку сортировка требует детализации, выходящей далеко за рамки железнодорожных норм. Так, в Едином техническом справочнике номенклатуры грузов (ЕТСНГ) указано всего двадцать

пять категорий каменных углей и двенадцать типов кокса, причем каждый вид четко разделен по марочным характеристикам. Между тем, в соответствии с ГОСТ 25543-2013, виды угля отличаются гораздо большим разнообразием сортов и промежуточных марок, зависящих от размера частиц и качественных характеристик сырья. Таким образом, понятие «сорт» формируется комбинацией размеров кусков и марки угля [3, 4, 5].

Судовые контракты показывают кардинально иной подход. Клиенты часто делают заказы не на определенную марку сортированного угля, а на смеси фракций и отсевов разных промежуточных марок, что выходит за пределы принятой железнодорожной номенклатуры. Примером такого реального заказа служит объявление о транспортировке, размещенное на онлайн-площадке и показанное на Рисунке.

Suria Oil & Gas (HK) Co., Ltd купит уголь следующих марок: ГЖ, Ж+КС (26/11 13:30)

Требуемые характеристики:

Влага 10% не больше,

Зола 10% не больше,

Летучие 28~31% (рабочее состояние)

FSI Более 8

Y Более 19 mm

крупность 0~100 mm

Сера 0. 8% не больше,

X 28~3

Нижшая теплота сгорания Qnet (Ккал/кг) – 6900 минимум

Количество 20 000 - 25000 t. ежемесячно

Коммерческие предложения по заключению долгосрочного контракта просим направлять по электронной почте.

Просим давать цену на условии поставки FOB порт Находка.

Предложения принимаются только по эл/почте

Контактное лицо: ~~Смолевский Александр Аркадьевич~~

Наименование предприятия: Suria Oil & Gas (HK) Co., Ltd

Город: Пекин, КНР

Телефон: +7-423-2222449

Другие контактные данные:

ООО Торговый дом Старая Гвардия

Владивосток

Рисунок. Объявление о покупке угля промежуточных марок

Объявление отражает потребность в приобретении угля двух марок: «ГЖ» (газовый жирный уголь) и «Ж+КС» (жирный уголь плюс коксовый слабоспекающийся уголь) крупного калибра с зернами до 100 мм. Если используется схема прямой перевалки «вагон-судно», сотрудникам припортовой железнодорожной станции приходится дополнительно подбирать партии угля под требования морских контрактов непосредственно на станции разгрузки перед погрузкой на судно. Для осуществления отправки работникам необходимо выбрать составы с нужными марками угля среди всех поступивших вагонов, подготовить партию и уведомить

оператора подъездных путей о готовности постановки состава на причал. Этот процесс занимает значительное количество времени, при этом простой судна в порту обходится примерно в 600 тысяч рублей ежедневно. Очевидно, что предварительный отбор вагонов по маркам угля на промежуточных узловых станциях в соответствии с условиями конкретного судового контракта позволил бы существенно сократить издержки.

Ещё одним фактором, негативно влияющим на стабильность функционирования российских портов, выступает нынешняя практика организации перевозок, нарушающая принципы честной конкуренции. Она позволяет трейдерам применять подвижной состав и портовую инфраструктуру в роли временных хранилищ продукции в период ожидания наиболее выгодной рыночной ситуации. Такая стратегия приносит наибольшую прибыль самим трейдерам, одновременно создавая серьёзные препятствия нормальной работе железнодорожного транспорта.

Одним из возможных решений проблемы транспортировки экспортных грузов железнодорожным транспортом через морские порты является налаживание чёткого и согласованного взаимодействия всех звеньев транспортной цепи России. В этой связи возникает острая необходимость разработки инновационных логистических методов управления грузовыми перевозками. Тем не менее даже новые подходы не смогут устранить проблему окончательно без устранения существующих пробелов в координации управления и обеспечении экономической ответственности каждого участника перевозочного процесса.

Решением вопроса должно стать подробное изучение и внедрение новой модели сотрудничества между всеми заинтересованными сторонами, включая Центр фирменного транспортного обслуживания (ЦФТО), Департамент управления перевозками и Центр управления перевозками (ЦУП) ОАО «Российские железные дороги», Морской Порт Технологический Комплекс (МорПортТЭК), грузоотправителей и стивидорные компании. Основой успешной реализации этого подхода должна стать ясная и открытая система экономических взаимоотношений, ориентированная на эффективное управление транспортным потоком с учётом интересов всех вовлечённых субъектов. Помимо этого, крайне важно разработать единый комплекс нормативно-правовых актов, устанавливающих стандарты информационного обмена между участниками процесса, унифицированные договорные формы и механизмы распределения ответственности.

Необходимо особо подчеркнуть важность грамотного планирования доставки грузов в адреса портов. Важно внедрить строгую систему планирования, учитывающую производственные мощности морских пор-

тов, существующие договоренности по хранению вагонов и меры ответственности за несоблюдение установленных норм выгрузки. Информация о движении судов, прибытии грузовых вагонов и доступности складских помещений сама по себе носит информативный характер и становится значимой только тогда, когда подкреплена соответствующими юридическими обязательствами сторон [6].

В настоящее время многие порты договариваются о пропускной способности переработки грузов, значительно превосходящей установленные нормы и ограничения, предусмотренные для железнодорожных операторов, игнорируя тот факт, что основная нагрузка ложится именно на железнодорожную инфраструктуру, вынуждая её справляться с дополнительной нагрузкой, расходами и ограничением потоков на других участках сети.

Такая проблема особенно ярко проявляется на Дальневосточной железной дороге (ДВЖД). Развитие технической оснащённости порта и его способность обрабатывать грузы значительно превышает темпы совершенствования железнодорожной инфраструктуры и примыкающей железнодорожной станции. Данная ситуация осложняет работу как самих перевозчиков, так и клиентов. Тем не менее, в Стратегии развития ОАО «РЖД» до 2030 г. предусмотрены существенные мероприятия по улучшению состояния инфраструктуры, повышению качества услуг перевозки и обновлению вагонного парка.

Таким образом, одним из эффективных решений для согласования указанных мероприятий и процессов могло бы стать учреждение Логистического центра (КЛЦ) в Москве, в структуре ОАО «РЖД». А учитывая необходимость интеграции с прочими транспортными отраслями – аналогичный центр целесообразно организовать и в Министерстве транспорта. Деятельность обоих центров должна тесно координироваться друг с другом. Ведь известно, что логистика способствует достижению конкретных преимуществ благодаря систематическому подходу, объединяя процессы перемещения товаров с целью повышения их эффективности. Здесь применяется принцип постепенности – переход от общих целей к частным задачам.

Библиографический список

1. Елисеева, С. Ю. Логистическое управление грузовыми перевозками и терминально-складской деятельностью : учебное пособие для специалистов / С. Ю. Елисеева, В. М. Николашина, А. С. Сеницыной. – Москва, 2013. – Текст : непосредственный.

2. Николашина, В. М. Координационно-логистические центры : учебное пособие для специалистов / В. М. Николашина, С. Ю. Елисеева, А. М. Пospelов. – Москва, 2013. – Текст : непосредственный.

3. Ковалев, И. А. Влияние согласованного подвода поездов на работу припортовой станции : научная статья / И. А. Ковалев, А. Э. Александров. – Текст : непосредственный // Труды IV научно-технической конференции «Молодые учёные – Транспорту». – 2003. – 275 с.

4. Николашин, В. М. Координационно-логистические центры : учебное пособие для специалистов / В. М. Николашин, С. Ю. Елисеев. – Москва, 2013. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ 25543-2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. – Москва, 2016. – URL : <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/56267/>. – Текст : электронный.

6. Елисеев, С. Ю. Логистическое управление грузовыми перевозками и терминально-складской деятельностью : учебное пособие для специалистов / С. Ю. Елисеев, В. М. Николашин, А. С. Синицына. – Москва, 2013. – Текст : непосредственный.

Е. Н. Светлакова

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКИПИРОВКИ ЛОКОМОТИВОВ НА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Организация эксплуатационной работы локомотивов должна обеспечивать удовлетворение потребности в перевозках с минимальной затратой средств и высокими технико-экономическими показателями при безусловном соблюдении безопасности движения. Во время поездки локомотив утрачивает непосредственную связь со своей базой-депо, поэтому он несёт на себе некоторый запас материалов, нуждается в его восполнении по мере расходования. Тщательное планирование и организация этих процессов позволяют достичь оптимального баланса между эксплуатационными затратами и качеством обслуживания, что в конечном итоге способствует повышению эффективности работы дороги. Отсутствие мест пескоснабжения на станциях дороги, кроме ст. Карымская, вызывается необходимостью смены локомотивов практически у всех поездов с заходом в ПТОЛ. В последние годы станция Карымская не способна обеспечить пропуск возрастающего поездопотока и является барьером на пути продвижения поездов.

Одним из способов решения данной проблемы является строительство дополнительного пункта снабжения грузовых поездов песком без отцепки локомотива на станции Карымская в парке «Д».

В статье сформулированы предложения по строительству дополнительного пункта снабжения песком в парке «Д» станции Карымская Забайкальской железной дороги с целью сокращения простоя поездов.

Ключевые слова: экипировка локомотивов, инвестиционный проект, срок окупаемости, пропускная способность.

Экипировка локомотива включает в себя совокупность технических операций по снабжению его топливом, песком, смазкой, водой, а также обтирочными материалами. Эти меры направлены на обеспечение непрерывной работы локомотива и поддержание его в исправном состоянии в течение всей поездки.

Песок является обязательным элементом экипировки локомотивов. Именно запасом песка ограничивается пробег тягового подвижного состава между экипировками. Применяется песок для повышения силы тяги локомотивов во время трогания с места и торможения, движения вверх по крутому подъему, а также в случае ухудшения погодных условий – когда дождь или снег приводит к скольжению рельсов.

Во избежание буксования локомотива при трогании с места на влажных, обледеневших, замазученных рельсах на локомотивах имеются устройства для подачи песка под колеса – песочницы. Пескораздаточные устройства станции Карымская имеют в своем распоряжении здание пескосушилки и экипировочные устройства на крыше ПТОЛа:

- здания пескосушилки – приготовление сухого песка для экипировки локомотивов;
- экипировочные устройства – для обеспечения локомотивов сухим песком.

Подготовка (сушка) песка производится в здании пескосушилки для корпуса № 1 1975 года постройки, площадь здания 174,37 кв. м, здании пескосушилки для корпуса № 3 2001 года постройки, площадь здания 214,37 кв. м. Сушка песка производится в прямоточном барабане D-1000 мм с горелочным устройством. Сырой песок подается при помощи крана на железнодорожном ходу в загрузочное устройство к барабанному сушилу, где при помощи дискового питателя D-1600 мм происходит вращение барабана с последующим отсевом сухого песка до требуемой фракции. В технологическом процессе подачи сухого песка в выжимные баки и пескораздаточные бункера используется сжатый воздух от компрессоров.

Расход песка колеблется в зависимости от профиля пути, массы поезда, состояния погоды, регулировки форсунок, а также индивидуальных навыков машинистов. Нормы расхода песка учитывают различие профилей пути и температуры воздуха.

На Забайкальской железной дороге проблема нехватки песка возникает в основном в период дождя и снегопада и во время следования локомотива в подъем (Яблоневый хребет). Экипировка песком происходит только на станции Карымская в ПТОЛ. Отсутствие систем пескозаправки на других станциях приводит к тому, что на станции Карымская нужно производить размен тяги, либо отправлять поезд без необходимого количества песка.

Проблемы и их последствия, возникающие из-за нехватки песка, представлены на рис. 1.



Рис. 1. Проблемы, вызываемые нехваткой песка

На Забайкальской железной дороге наблюдается постоянный рост объемов перевозок грузов, что приводит к увеличению вагонопотоков и поездопотоков. Ситуация становится все более напряженной, и запас пропускной способности практически исчерпан. В связи с этим необходимо внедрять различные методы развития железнодорожных станций, чтобы обеспечить увеличение этого запаса и расширить возможности для перевозок.

При плотном потоке поездов, особенно в зимнее время и сезон дождей резко возрастает необходимость снабжения локомотивов по станции Карымская. Данная ситуация является барьером на пути продвижения поездов и негативно сказывается на графике движения.

В целях решения данных проблем предлагается рассмотреть возможность строительства здания пескосушилки и пескораздаточных устройств в четном приемоотправочном парке «Д» на станции Карымская для снабжения грузовых поездов песком без отцепки локомотива.

Целями проекта являются:

- увеличение пропускной способности станции Карымская и Забайкальской железной дороги;
- исключение простоя локомотивов в ожидании снабжения песком;
- исключение передислокации локомотивов из парка станции на ПТОЛ для экипировки песком.

В настоящее время экипировка локомотивов после прибытия поезда в четный парк «Д» станции Карымская на путях с № 100 по 118 осуществляется только после отцепки локомотива и передислокации его на ПТОЛ.

Тем самым, в случаях постановки на ТО-2 одновременно 4-х и более локомотивов ПТОЛ не может обеспечить экипировку без нарушения сроков простоя на данном виде обслуживания.

В период с 01.01.2023 г. по 31.12.2023 г. по анализу работы ПТОЛ проведено 1789 случаев снабжения песком без проведения ТО-2. График количества экипировки локомотивов по месяцам представлен на рис. 2.

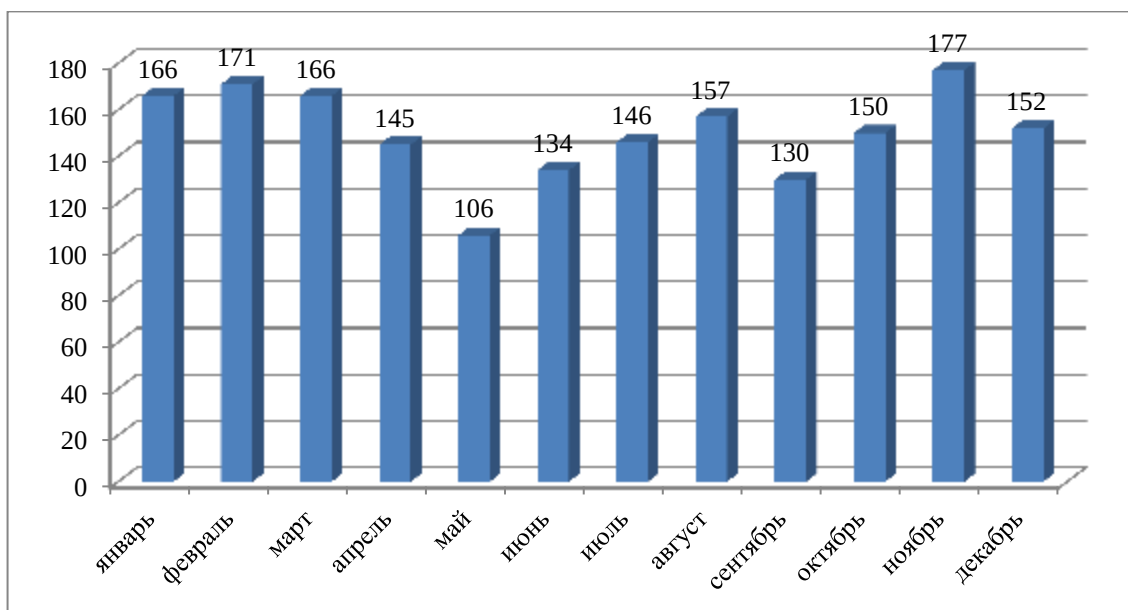


Рис. 2. График экипировки локомотивов песком без ТО-2

В среднем в месяц по отчетным данным производится 149 отцепок для снабжения песком по станции Карымская (снабжение в депо), при этом сроки простоев составляют:

- на передислокацию в депо, при норме 0,85 часа на 1 случай, составляют 126,65 часа ежемесячно;
- время на сдачу на деповских путях, при норме 0,4 часа на 1 случай составляет 59,6 часа ежемесячно;
- время на передислокацию из депо, при норме 0,96 часа, составляет 140,06 часа ежемесячно;
- время простоя в ожидании снабжения песком – 1,1 часа на 1 случай, или 163,9 часов в месяц;
- время на снабжение песком составляет 1 час, при этом из-за занятости канав ожидание захода на ТО-2 плановых локомотивов в среднем 223,5 часа.

Итого затраты по времени:

$$126,65 + 59,6 + 140,06 + 163,9 + 223,5 = 713,71 \text{ часа.}$$

Потери времени при организации снабжения песком на транзитных путях четного парка Д станции Карымская составят:

- время на сдачу на транзитных путях, при норме 0,22 часа на 1 случай составляет 32,78 часа ежемесячно;
- время на снабжение песком (на локомотиве находится помощник машиниста электровоза (вспомогательного вида движения)) – 223,5 час.

Итого дополнительные затраты времени:

$$32,78 + 223,5 = 256,28 \text{ часа.}$$

Строительство пескосушилки и пескораздаточных устройств в парке Д позволят исключить эти потери времени.

Порядок выполнения последовательных операций, строительства экипировочных устройств:

- проведение проектно-изыскательных работ;
- строительство здания пескосушилки, склада сырого песка, склада сухого песка, установка модульной компрессорной установки;
- строительство пескораздаточных устройств в приемоотправочном парке «Д» возле пути № 108 и междупутье пути 118 и ПВ в количестве 6 штук, оснащение повышенными экипировочными площадками подъемного типа, оборудование здания пескосушилки (барабан прямооточный пескосушильный 1000 мм, выжимные баки для подачи сухого песка, питатель дисковый, дымососов), прокладка псекоподающего трубопровода от здания пескосушилки до пескораздаточных устройств.

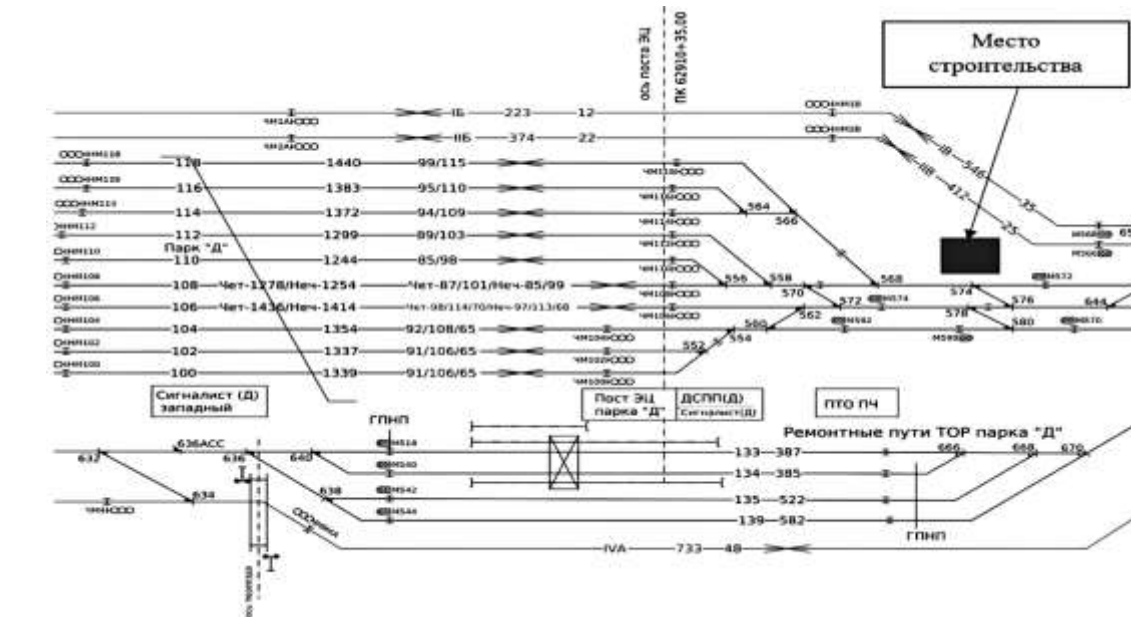


Рис. 3. Схема расположения планируемого строительства экипировочных позиций

Капитальные вложения на строительство пескораздаточных устройств в парке «Д» станции Карымская представлены в Таблице.

Таблица

Капитальные вложения

Наименование мероприятия	Краткое описание мероприятий	Сумма затрат, млн руб.
Проектно-изыскательские работы	Выполнить инженерно-геодезические изыскания в объеме, достаточном для проектирования и в соответствии с действующей нормативной документацией	37,5
Строительство зданий	Строительство здания пескосушилки, склада мокрого песка, сухого песка, установка модульной компрессорной установки	168,75
Строительно-монтажные работы	Строительство наружных инженерных сетей: пескораздаточных устройств в количестве 6 штук, оснащение повышенными экипировочными площадками подъемного типа, оборудование здания пескосушилки, прокладка пескопадающего трубопровода от здания пескосушилки до пескораздаточных устройств	293,75
Итого		500

Экономический эффект будет достигнут за счет:

1. Снижение времени на сдачу электровоза локомотивной бригадой грузового вида движения:

$$(59,6 \text{ ч} - 32,78 \text{ ч}) = 26,82 \text{ часа},$$

экономия расходов по фонду оплаты труда:

$$26,82 * 1057,20 = 28354,10 \text{ руб.}$$

2. Исключение времени на передислокацию в депо/из депо локомотивной бригадой грузового вида движения 266,71 часа, экономия расходов по фонду оплаты труда:

$$(126,65 + 140,06) * 1057,20 = 281965,81 \text{ руб.}$$

3. Исключение времени ожидания захода в депо для снабжения песком 163.9 часа, экономия по фонду оплаты труда:

$$(163,9 * 713,95) = 117016,41 \text{ руб.}$$

4. Исключение потери времени при организации снабжения песком локомотивов, не проходящих ТО-2, экономия расходов по электроэнергии составит из расчета ЗЭС5К:

$$149 \text{ ед.} * 1,1 \text{ час} * 57 \text{ кВтч} * 3 \text{ секции}$$

$$149 * 1,1 * 57 * 3 = 28027 \text{ кВтч}$$

$$28027 * 3,710543 = 103995,02 \text{ руб.}$$

3 ч – среднее время простоя локомотива в ожидании экипировки;
57 кВтч – часовое потребление электроэнергии в ожидании экипировки на 1 секцию.

$$3,710543 \text{ руб.} - \text{стоимость электроэнергии (Русэнергосбыт)}$$

Экономический эффект от переноса места снабжения песком по ст. Карымская составит:

1. По фонду оплаты труда

$$28354,10 + 281965,81 + 117061,41 = 427381,32 \text{ руб. в среднем в месяц},$$

годовой экономический эффект

$$427381,32 * 12 = 5128575,84 \text{ руб.}$$

2. Единый социальный налог

$$5128575,84 * 32 \% = 1641144,26 \text{ руб.}$$

3. Электроэнергии 103995,02 руб. в месяц, годовой экономический эффект

$$103995,02 * 12 = 1247940,22 \text{ руб.}$$

4. С изменением технологии обработки транзитных поездов за счет экипировки песком локомотивов на путях во время простоя состава под техническими операциями, а не передислокации его в депо, на станции сократятся простои транзитных поездов на 39,83 поездо-часов в сутки, уменьшится оборот локомотивов, а также улучшатся условия труда работников депо из-за снижения загруженности ПТОЛа.

Экономия расходов от уменьшения простоя поездов:

$$39,83 \cdot 365 \cdot 3163,09 = 45984844,3 \text{ руб.}$$

Итого годовой экономический эффект составит

$$5128575,84 \text{ руб.} + 1641144,26 \text{ руб.} + 1247940,22 \text{ руб.} + 45984844,3 = \\ = 54002504,46 \text{ руб.}$$

Суммарный экономический эффект от предложенного проекта составит 141643059 рублей и срок окупаемости 3,53 года. Соответственно, предложенные мероприятия экономически целесообразны.

ВЫВОДЫ. Анализ результатов обоснования позволяет получить однозначный вывод об экономической целесообразности строительства пескосушилки со строительством пескораздаточных устройств в приемоотправочном парке Д станции Карымская Эксплуатационного локомотивного депо Карымская. В результате строительства будут созданы требуемые условия для выполнения графика движения поездов, снижен оборот локомотива на станции. Обоснование свидетельствует, что намеченные мероприятия могут быть осуществлены в сжатые сроки, с минимально возможными затратами и требуемым экономическим эффектом.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам [утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 28 ноября 2016 г. № 2396]. – Текст : непосредственный.

2. Методические указания по подготовке стратегического и комплексного обоснований инвестиционного проекта, а также по оценке инвестиционных проектов, претендующих на финансирование за счёт средств Фонда национального благосостояния и(или) пенсионных накоплений, находящихся в доверительном управлении государственной управляющей компании, на возвратной основе [утверждены приказом Минэкономразвития от 14.12.2013 № и 741]. – Текст : непосредственный.

3. Отраслевые укрупнённые сметные нормативы. Железные дороги. Отраслевые укрупнённые нормативы цены конструктивных решений ОНЦКРЖ 81-02-07-2017. – Москва, 2017. – Текст : непосредственный.

4. Техническо-распорядительный акт железнодорожной станции Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». – Текст : непосредственный.

5. Технологический процесс работы станции Карымская Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», 2024. – Текст : непосредственный.

Е. Н. Светлакова

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

РЕКОНСТРУКЦИЯ СТАНЦИЙ – ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДОРОГИ

Одним из важнейших направлений повышения уровня организации перевозок грузов является улучшение продвижение транзитных вагонопотоков на железной дороге, снижение потерь времени от непроизводительных простоев на станциях и подходах к станциям из-за враждебности маршрутов, вызванных недостаточным путевым развитием. Станции также обеспечивают движение поездов по графику, отправление всех поездов в строгом соответствии с планом формирования поездов, полными по весу и длине, поэтому наличие инфраструктурных ограничений плохо сказывается на эффективности работы дороги. Одним из таких барьерных мест на Забайкальской железной дороге является станция Шилка-Товарная.

В статье сформулированы предложения по реконструкции станции Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги с целью повышения участковой скорости на дороге.

Ключевые слова: участковая скорость, инвестиционный проект, срок окупаемости, пропускная способность.

Станция Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги по характеру работы является участковой станцией и отнесена ко 2 классу.

На станции Шилка-Товарная на сегодняшний день существует ряд барьерных мест, которые оказывают негативное влияние на работу станции и дороги в целом. К таким недостаткам можно отнести следующее:

- наличие стрелочных переводов № 83, № 101, № 24 боковым направлением на главный путь, с ограничением скорости движения транзитным нечетным поездам 40 км/ч;

- наличие стрелочных переводов № 105 боковым направлением на главный путь, с ограничением скорости движения транзитным четным поездам 40 км/ч;

- отсутствие в парках «А» и «Б» приемо-отправочных путей полезной длины 71 условных вагонов, что в свою очередь не позволяет осуществлять беспрепятственный прием грузовых поездов с остановкой под пропуск преимущественных и сборных поездов для прицепки (отцепки) вагонов.

Станция Шилка-Товарная состоит из 5-ти специализированных парков:

- четный приемо-отправочный парк «А»;
- нечетный приемо-отправочный парк «Б»;
- сортировочный парк «С»;
- пассажирский парк «В»;
- приемо-отправочный парк «П».

При этом только главный путь № I соответствует установленной графиком движения норме длины грузовых поездов (73 условных вагона). Поэтому прием поездов на станцию со сменой локомотивных бригад или для пополнения до установленных норм веса и длины влечет за собой задержки поездов на подходах к станции Шилка-Товарная, а также к чрезмерным простоям грузовых поездов на промежуточных станциях участка под пропуск пассажирских поездов. Таким образом, существующее путевое развитие станции Шилка-Товарная является недостаточным для решения задачи повышения эффективности перевозочного процесса в условиях увеличения объемов перевозок.

Для устранения потерь участковой скорости и ликвидации барьерного места на участке Карымская – Шилка-Товарная предлагается мероприятие по реконструкции станции Шилка-Товарная с переустройством западной горловины парка «С» и восточной горловины парка «Б», а также переустройство западной и восточной горловины парка «А». Удлинение приемо-отправочных путей позволит принимать четные грузовые поезда длиной 71 условных вагонов на приемо-отправочные пути № 5А, № 6А для обгона их преимущественными поездами и выполнения технических операций, а путь № 7Б использовать для приема нечетных грузовых поездов длиной до 100 условных вагонов. При этом исключается возможность заезда на пути № 8Б и № 9Б с восточной стороны. Переустройство горловины позволит организовать пропуск тран-

зитных грузовых поездов обоих направлений без отклонения по стрелочным переводам № 83, № 101, № 105.

Таблица 1

**Мероприятия по реконструкции станции Шилка-Товарная
Забайкальской железной дороги**

Наименование титула	Краткое описание мероприятия	Технологический эффект
Реконструкция станции Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги	Переустройство западной горловины парка «С» и восточной горловины парка «Б»	Увеличение участковой скорости, увеличение пропускной способности
	Переустройство западной и восточной горловины парка «А»	

Таблица 2

Пропускная способность станции до реконструкции и после

Наименование станции	Пропускная способность, пар поездов	
	Четное	Нечетное
Шилка-Товарная	103	75
	107	91

Участковая скорость после реконструкции:

$\frac{211267,6614}{5871,81} = 35,98$ км/ч, участковая скорость без задержек у входных светофоров.

$35,98 - 35,78 = 0,20$ км/ч (увеличение участковой скорости).

После реконструкции станции Шилка-Товарная пропускная способность увеличится в четном направлении на 4 поезда в сутки, в нечетном – на 16 поездов в сутки, участковая скорость на дороге возрастет на 0,2 км/ч.

Таблица 3

Планируемые результаты реализации проекта

Наименование мероприятия/титула	Показатель деятельности ОАО «РЖД»	Ед. изм	Значение до реализации проекта	Изменение показателя
Реконструкция станции Шилка-Товарная	Увеличение участковой скорости	км/ч	35,78	35,98

Точные стоимостные показатели проекта могут быть определены только по итогам выполнения проектно-изыскательских работ.

Затраты инвестиций сформированы исходя из актуальных данных, основного проектного решения с вычетом стоимости мероприятий реализующихся по программе Центральной дирекции управления движением объект «Станция Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги».

Таблица 4

Стоимость реализации проекта

Наименование	Перечень работ	Стоимость реализации, млн руб.
Станция Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги	1. Переустройство западной горловины парка «С» и восточной горловины парка «Б», включающее в себя: демонтаж стрелочных переводов № 79, 81, 83, 85, 89, 91, 93, 95, 117, 119; укладка 7 новых стрелочных переводов; демонтаж 2300 метров пути; укладка 2300 метров пути и земляного полотна.	ПИР – 206,128 + 56,013* = 262,141
	2. Переустройство западной горловины парка «А» включающее в себя: демонтаж стрелочных переводов № 40, 42, 46, 48, 52; укладка 5 новых стрелочных переводов; демонтаж 1200 метров пути; укладка 1700 метров пути и земляного полотна. 3. Переустройство восточной горловины парка «А» включающее в себя: демонтаж стрелочных переводов № 105, 107, 319, 362; укладка 1 нового стрелочного перевода; демонтаж тупика № 13Т и пути № 14Т; демонтаж 1200 метров пути; укладка 500 метров пути и земляного полотна	СМР – 2061,282
Итого:		2323,423

Стоимость указана без учета дополнительных обременений при подключении к сетям инженерно-технического обеспечения и технологических присоединений, выноса инженерных сетей из зоны строительства и изменяющейся рынка стоимости оборудования.

Таблица 5

Инвестиционные затраты

	Перечень работ	Стоимость СМР, млн руб.
	Переустройство восточной и западной горловины парка «А», переустройство западной горловины парка «С», переустройство восточной горловины парка «В»	2061,282
	Общая стоимость СМР	2061,282

Всего на реконструкцию станции Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги потребность в инвестиционных вложениях составляет 2280 млн руб. Предполагается реализация проекта в 3-летний период с разбивкой по годам (табл. 6):

Таблица 6

**Распределение инвестиционных затрат
по годам реализации проекта**

	2026	2027	2028
Вид работ	ПИР	СМР	СМР
Стоимость, млн руб.	262,141	1030,641	1030,641

По итогам реализации проекта возникнут затраты на содержание вновь созданной инфраструктуры в следующих объемах (табл. 7).

Таблица 7

**Дополнительные расходы
на содержание объектов инфраструктуры**

Статья эксплуатационных расходов	Хозяйство, годовые расходы, млн руб.
Затраты на оплату труда	0,181
Материалы	2,757
Прочие	0,222
Итого	3,160

К учёту в финансовой модели приняты расходы без учёта амортизации, т. к. в калькуляциях учтена амортизация основных средств, имеющих иные характеристики. Амортизация учтена в финансовой модели, исходя из стоимости вложений предлагаемого к рассмотрению проекта.

Доходная часть проекта формируется за счет увеличения участковой скорости по станции и сокращения задержек поездов.

В соответствии с проведенным анализом, потери от задержек грузовых поездов по данным системы АСУ НБД по станции Шилка-Товарная составили 7568 случаев/год и по времени задержки 144957 минут/год. Согласно распоряжению № 625/р от 11.03.2024 г. «Единичные расходные ставки для использования в экономических задачах ОАО «РЖД» потери от задержек грузовых поездов у входных запрещающих светофоров составили 764,18 млн рублей/год. В статистику включены задержки поездов у входных и маршрутных светофоров станций за 2024 г. Используются данные системы АСУ НБД, т. к. первичная информация о задержках поездов у входных и маршрутных светофоров формируется на основании расшифровки носителей информации, фиксирующих информацию о движении поездов.

$5904,63 - 5871,81 = 32,82$ поездо-часов (уменьшение поездо-часов в сутки за счет роста участковой скорости)

$32,82 * 3163,09 = 103,81$ млн руб (эффект от увеличения участковой скорости)

Таблица 8

Технологический эффект от реализации проекта

Показатель	Эффект в год, млн руб.
Увеличение участковой скорости	103,81
Сокращение задержек поездов	764,18
Итого	867,99

Таблица 9

Расчет экономического эффекта

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ		
поездо-км в сутки в 2024 г.	211 267,6614	поездо-км
поездо-часы в сутки в 2024 г.	5 904,63	поездо-часы
поездо-часы в сутки в 2024 г. без задержек поездов у входных	5871,81	поездо-часы
скорость 2024 г.	35,78	км/ч
Пропущено поездов в среднем в сутки месяца максимальных перевозок 2024 г.	65	поезда
Ставка	3163,09	руб/поездо-час
РАСЧЕТ		
Уменьшение поездо-часов в сутки за счет роста участковой скорости	-32,82	поездо-часа
Увеличение участковой скорости на	0,20	км/ч
Экономический эффект в год	103,81	млн руб.

Таблица 10

Прогнозные доходные поступления по проекту, млн руб.

Статья доходных поступлений	2030 г.	2050 г.
Эффекты от реализации проекта	976	2225

Денежные потоки по инвестиционному проекту представлены в табл. 11.

Показатели экономической эффективности представлены в табл. 12.

Таблица 11

Денежные потоки по инвестиционному проекту

Статья потока	2026 г.	2027 г.	2028 г.	2029 г.	2032 г.	2050 г.	ИТОГО
Поступления от продаж	0	0	0	976	1098	2225	33439
Общие затраты	0	0	0	-3	-4	-7	-108
Налоги	0	0	0	-196	-236	-430	-6742
Денежные потоки от операционной деятельности	0	0	0	777	858	1788	26589
Инвестиции в здания и сооружения	-219	-1031	-1031	0	0	0	2280
Инвестиции в оборотный капитал	0	0	0	-49	-2	-4	108
Денежные потоки от инвестиционной деятельности	-219	-1031	-1031	49	2	4	-2172
Денежные потоки от финансовой деятельности	0	0	0	0	0	0	0
Суммарный денежный поток за период	-219	-1031	-1031	826	861	1791	24416
Денежные средства на конец периода	-219	-1250	-2280	-1454	1028	24416	

Таблица 12

Показатели экономической эффективности проекта

Наименование показателя	Значение
Инвестиционные затраты по проекту, млн руб.	2280
Простой срок окупаемости, лет	5,8
Чистая приведенная стоимость (NPV), млн руб.	3372
Дисконтированный срок окупаемости (PBP), лет	7,02
Внутренняя норма рентабельности (IRR)	32,0

Выводы. Реализация проекта по реконструкции станции Шилка-Товарная, предусматривающая переустройство западной горловины парков «С», «А» и переустройство восточной горловины парков «Б», «А» позволит повысить пропускную способность станции Шилка - Товарная на 4 поезда в четном направлении и 16 поездов в нечетном направлении, участковую скорость на 0,2 км/ч. Срок окупаемости проекта реконструкции составит 5,8 лет, что показывает высокую экономическую эффективность проекта. Таким образом, реализация проекта реконструкции железнодорожной станции Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги позволит, улучшить эксплуатационные показатели работы, как станции, так и участка.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по оценке коммерческой, бюджетной и социальной эффективности инвестиционных проектов ОАО «РЖД», разработанные в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.12.2017 № 2991-р. – Текст : непосредственный.

2. Методические рекомендации по составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам [утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 28 ноября 2016 г. № 2396]. – Текст : непосредственный.

3. Методические указания по подготовке стратегического и комплексного обоснований инвестиционного проекта, а также по оценке инвестиционных проектов, претендующих на финансирование за счёт средств Фонда национального благосостояния и(или) пенсионных накоплений, находящихся в доверительном управлении государственной управляющей компании, на возвратной основе [утверждены приказом Минэкономразвития от 14.12.2013 № и 741]. – Текст : непосредственный.

4. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов (вторая редакция) [утверждены Министерством экономики Российской Федерации, Министерством финансов Российской Федерации, Государственным комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике от 21.06.1999 № ВК 477]. – Текст : непосредственный.

5. Отраслевые укрупнённые сметные нормативы. Железные дороги. Отраслевые укрупнённые нормативы цены конструктивных решений ОНЦКРЖ 81-02-07-2017. Москва, 2017 г. – Текст : непосредственный.

6. Техническо-распорядительный акт железнодорожной станции Шилка-Товарная Забайкальской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». – Текст : непосредственный.

И. Р. Терехова, В. М. Видясова, Т. Д. Серкова
Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I (ПГУПС),
г. Санкт-Петербург, Россия

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ УРОВНЯ
ДОСТУПНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА
ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ
ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Комиссия при Президенте РФ по делам инвалидов отмечает, что по всем основным целевым показателям доступности для инвалидов объектов транспортной инфраструктуры, транспортных средств и предоставляемых на них транспортных услуг, по итогам 2024 года достигнуты плановые значения. Работа по обеспечению безбарьерности среды должна быть продолжена, ввиду того, что показатели доступности составляют менее 100 %, а также с целью предоставления возможности самостоятельного использования объектов пассажирской инфраструктуры маломобильными группами населения. Улучшение показателей доступности и, соответственно, повышение индекса качества городской среды возможно путём широкого внедрения навигационных систем радиоинформирования и звукового ориентирования как одного из инновационных способов.

Ключевые слова: маломобильные группы населения, безбарьерная среда, объекты транспорта, информационная доступность, навигационные системы, транспортно-пересадочные узлы.

В Российской Федерации численность людей с инвалидностью (ЛСИ) составляет 11 123 тыс. человек (данные Росстата от 31 декабря 2024 г.). По экспертным оценкам число граждан из более широкой категории – маломобильных групп населения (МГН), куда также относятся временно нетрудоспособные, пожилые, дошкольники, беременные женщины и др., – насчитывает порядка 40 млн человек.

Для обеспечения равноправной возможности удобного пребывания маломобильных людей на социально-значимых объектах (СЗО), в т. ч. транспортных, собственники таких объектов реализуют различные мероприятия в части обеспечения архитектурной и информационной доступности, а также предоставляют услуги оказания ситуационной помощи по предварительному запросу.

Транспорт играет ключевую роль в социальной интеграции, возможности планирования и реализации рутинных, медицинских, деловых, туристических и прочих поездок.

Статистические данные указывают на увеличение количества транспортных перевозок МГН в связи с предоставляемыми комфортными условиями перевозчиками и владельцами объектов транспорта: повышается качество обслуживания населения (обучается персонал, потенциально контактирующий с МГН), модернизируется и адаптируется подвижной состав и объекты пассажирской инфраструктуры в соответствии с современными требованиями законодательства.

По данным [1] в 2024 г. были обучены или проинструктированы 74,1 % (60 тыс. человек из 80,4 тыс.) сотрудников организаций транспортного комплекса, исполняющих должностные обязанности по обеспечению доступности для инвалидов объектов транспортной инфраструктуры и услуг (информация получена от 55 субъектов РФ).

Значительный рост показателей доступности наземного общественного пассажирского транспорта для МГН достигнут за счет обновления парка транспортных средств (ТС). Новые трамваи, троллейбусы и автобусы приобретались с учетом приспособленности под перевозки ЛСИ, в т. ч. в течение 2020–2024 гг. в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» [2].

Сведения по улучшению показателей доступности парка подвижного состава наземного общественного транспорта, оборудованного для перевозки МГН, за период 2011–2024 гг. представлены в табл. 1 [1].

Таблица 1

**Улучшение показателей доступности для МГН
наземного общественного транспорта за период 2011–2024 гг.**

Год	Доля парка подвижного состава, доступного для МГН, по видам транспорта, %		
	Автобусы	Трамваи	Троллейбусы
2011	2,6	3	9,6
2024	44,3	39,1	62,6
Рост, %	41,7	36,1	53

В табл. 2 указана информация по значениям основных показателей доступности для МГН автовокзалов и автостанций (стационарных объектов автомобильного транспорта) за период 2023–2024 гг. (по данным Ространснадзора) [1].

Таблица 2

**Значения основных показателей доступности для МГН
стационарных объектов автомобильного транспорта
за период 2023–2024 гг.**

Показатель доступности для МГН объектов	Доля доступных для МГН объектов, % (ед.), в году	
	2023	2024
Объекты оснащены средствами для самостоятельного передвижения, входа и выхода, в т. ч. с использованием кресла-коляски, а также имеется в наличии специальное оборудование	35 (410)	43 (492)
В наличии имеются специальные ТС, подъемные устройства для посадки/высадки инвалидов на пассажирские ТС	21 (250)	22 (259)
В составе штата – подготовленный персонал, задействованный в обслуживании пассажиров с инвалидностью	35 (412)	37 (419)
Знаками, выполненными рельефно-точечным шрифтом Брайля, обеспечено дублирование необходимой для ознакомления текстовой и графической информации	47 (549)	48 (553)
Доступными графическими средствами обеспечено дублирование необходимой звуковой информации	45 (531)	47 (537)

В табл. 3 представлена информация о динамике обеспечения для МГН информационной доступности ТС наземного общественного транспорта за период 2023–2024 гг. (по данным Ространснадзора) [1].

Таблица 3

**Динамика обеспечения для МГН информационной доступности ТС
наземного общественного транспорта за период 2023–2024 гг.**

Год	Способ обеспечения информационной доступности			
	Дублирование шрифтом Брайля графической/текстовой информации		Дублирование доступными графическими средствами необходимой звуковой информации	
	Кол-во ТС, ед.	Доля доступных ТС в общем кол-ве ТС, %	Кол-во ТС, ед.	Доля доступных ТС в общем кол-ве ТС, %
2023	54 825	32	53 781	31
2024	69 788	34	68 775	33
Рост, ед./%	14 963	27	14 994	28

Значения основных показателей доступности для МГН железнодорожного транспорта в 2024 г. представлены в табл. 4 (по данным Ространснадзора) [1].

Таблица 4

**Основные показатели, характеризующие доступность
для МГН железнодорожного транспорта в 2024 г.**

Показатель доступности для МГН объектов	% (ед.)	Рост по отношению к 2023 г., %
Доля доступных для МГН ж/д вокзалов (предоставлены услуги, соответствующие требованиям доступности для инвалидов объектов и услуг)	10,1 (132 из 1307)	0,1
Доля доступных вагонов поездов дальнего следования, предназначенных для перевозки пассажиров из числа инвалидов (с 2001 г. включаются в состав поездов)	94 (1180 из 1258)	0 (в 2023 г. – 1129 из 1205 вагонов)
Доля ж/д вокзалов, на которых слабовидящим пассажирам и имеющим затруднения при самостоятельном перемещении предоставляется сопровождение и оказывается ситуационная помощь (вокзалы ОАО «РЖД»)	98 (1271 из 1293)	0 (в 2023 г. – 1277 из 1299 вокзалов)
Доля доступных для МГН остановочных пунктов	3,5 (331)	0,2 (в 2023 г. – 3,3 % (319))
Доля доступных вагонов поездов пригородного сообщения, предназначенных для перевозки пассажиров с инвалидностью (приобретен 51 электропоезд или 84 головных вагона, доступных для пассажиров из числа инвалидов, в т. ч. серии ЭПЗД – 20, ЭП2Д(М) – 13, ЭС104 – 18)	27 (1048)	2 (в 2023 г. – 25 % (960))

Уровень информационной доступности будет повышаться благодаря тому, что в состав конкурсной документации на выполнение работ (оказание услуг) по разработке и модернизации интерфейсов интернет-ресурсов и мобильных приложений, используемых для организации транспортного обслуживания граждан, с 2024 г. включаются условия по обеспечению доступности таких ресурсов и приложений для инвалидов по зрению [1].

Цифровые сервисы на сайте ОАО «РЖД» для МГН представлены специальным разделом «Маломобильным пассажирам» с учетом возможности использования и слабовидящими людьми (изменяются параметры шрифта, контрастность текста и некоторые другие характеристики), а также обобщенной информацией «Карта доступности вокзалов» – об особенностях устройства для МГН различных структурно-функциональных зон вокзалов всех регионов РФ [3]. На основании полученной информации МГН может быть принято решение о запросе услуги сопровождения специальной службой на требуемом вокзале ввиду его частичной доступности (недоступности). По данным ОАО «РЖД» все сотрудники указанной службы обучены (проинструктированы) по вопросам оказания качественного сервиса сопровождения и оказания ситуационной помощи инвалидам (53,8 тыс. человек, или 100 %), 457,8 тыс. пассажиров (рост составил 17,6 % по отношению к 2023 г.) воспользовались помощью таких служб в 2024 г.

Для удобства получения информации слабослышащими людьми сайт информирует о наличии услуги видеоконсультации оператора на русском жестовом языке (услуга онлайн в 2024 г. предоставлена на 371 вокзале) [1].

Возможность использования метрополитена по-прежнему доступна не для всех регионов РФ и является привилегией городов-миллионников, однако нельзя не отметить его популярность среди пассажиров ввиду наличия неоспоримых преимуществ: скорости передвижения, пунктуальности, безопасности и экологичности. В контексте перемещений МГН существует ряд сложностей, связанных, прежде всего, со значительными физическими/архитектурными барьерами на станциях, построенных десятки лет назад.

Увеличение доли доступных станций метрополитена РФ для МГН за период 2016–2024 гг. (на конец года) – оборудованных лифтом, подъемными платформами и др. стационарными приспособлениями, обеспечивающими безбарьерный доступ к станции для МГН – в общем количестве станций, составило: 30,3 % или 133 станции (с 12,3 до 42,6 % или с 41 до 174 станций соответственно) и было обусловлено применением указанных технических решений при строительстве новых станций и транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) [1]. Доступность действующих станций обеспечивается за счет сопровождения и оказания ситуационной помощи персоналом, в том числе при использовании специальных технических устройств, например, мобильных лестничных подъемников. Вагоны метрополитена также оснащены физическими и информационными элементами безбарьерной среды (выделенная зона удобной

го размещения на кресле-коляске, звуковое и визуальное оповещение о станциях следования).

Работа по достижению требуемых показателей доступности авиационного и водного видов транспорта также показывает общую положительную динамику.

Несмотря на то, что практически по всем целевым показателям доступности (установленным до 2025 г.) для инвалидов объектов транспортной инфраструктуры, транспортных средств и предоставляемых на них транспортных услуг протоколом заседания Комиссии при Президенте РФ по делам инвалидов (Комиссия) от 29 октября 2019 г. № 21, по итогам 2024 г. отмечается достижение плановых значений, работа по обеспечению безбарьерности среды должна быть продолжена, ввиду того, что показатели доступности составляют менее 100 %, а также с целью предоставления возможности самостоятельного использования объектов пассажирской инфраструктуры МГН.

Анализ статистических данных показывает, что в настоящее время из-за наличия архитектурных и информационных барьеров доступ к СЗО, в т. ч. пассажирской инфраструктуры, зачастую обеспечивается в большей степени благодаря службам сопровождения и оказания ситуационной помощи (ССОСП).

Контрольные (надзорные) и профилактические мероприятия в отношении объектов транспортной инфраструктуры указывают на ряд нарушений, требующих устранения с целью соблюдения требований законодательства по обеспечению безбарьерности СЗО.

Среди них: отсутствие дублирования необходимой информации на шрифте Брайля, отсутствие тактильных напольных указателей на пути движения слабовидящих пассажиров с инвалидностью, невозможность использования ЛСИ на креслах-колясках информационных стендов ввиду несоблюдения эргономических параметров размещения кнопок, клавиш, переговорных устройств и прочего; отсутствие пандусов; оборудованных парковочных мест для МГН; отсутствие наружных устройств вызова (средств связи с персоналом) при входе в здание вокзала со стороны ж/д платформ и населенного пункта; общая информационная неосведомленность о возможности получения помощи сопровождения, допуске собаки-проводника, помощи сурдопереводчика и тифлосурдопереводчика, бесплатном провозе кресла-коляски и др. – в т. ч. неразмещение соответствующей информации в сети Интернет; по ТС: отсутствие визуальной информации о безопасной эксплуатации вспомогательных посадочных устройств; отсутствие указывающих на доступность вагона для людей с инвалидностью на стенах вагона пиктограмм

или соответствующих им по смыслу надписей; отсутствие табличек «Места для инвалидов», выполненных шрифтом Брайля, для информирования слабовидящих пассажиров [1].

В связи с выявленными нарушениями и во исполнение пункта 2 раздела 1 протокола заседания Комиссии от 7 июня 2023 г. № 27, а также в целях исполнения органами исполнительной власти субъектов РФ пункта 18 раздела 1 указанного протокола Минтрансом России комплексная работа будет продолжена в соответствии с подготовленным и утвержденным сводным планом мероприятий по повышению доступности для инвалидов объектов транспортной инфраструктуры, ТС и предоставляемых на них транспортных услуг на период с 2024 по 2030 гг. [4].

Улучшение показателей доступности транспортных объектов и, соответственно, повышение индекса качества городской среды в целом, возможно путем широкого внедрения и применения навигационных систем радиоинформирования и звукового ориентирования (НСРЗО).

НСРЗО – современный способ обеспечения безбарьерной окружающей, в т. ч. транспортной, среды для МГН, отвечающий принципам решения поставленных задач с точки зрения социальной модели инвалидности.

Требования к функционированию таких систем регламентируются ГОСТ Р 59431-2024 «Система радиоинформирования и звукового ориентирования для инвалидов по зрению. Общие технические требования» [5], разработанному в целях обеспечения положений Постановления Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2023 г. № 208 «Об утверждении требований к региональному стандарту транспортного обслуживания населения» [6].

Использование НСРЗО позволяет выполнять рекомендации, содержащиеся в статье 3 Конвенции ООН о правах инвалидов: о необходимости следования принципам уважения присущего человеку достоинства, его личной самостоятельности, включая свободу делать свой собственный выбор, и независимости [7] – поскольку действующая система дает возможность МГН самостоятельно передвигаться в городских условиях, без необходимости контакта с другими гражданами и запросов помощи ССОСП – безбоязненно пользоваться метрополитеном, переходить улицы по пешеходным переходам, путешествовать всеми видами транспорта, посещать СЗО и быть осведомленным обо всех возможных нюансах их работы (при условии отсутствия значительных физических барьеров на объектах).

Такие системы позволяют создавать комфортные условия для пребывания МГН на СЗО, в т. ч. объектах пассажирской инфраструктуры, обеспечивая: установление местонахождения в пространстве; определе-

ние направлений движения; своевременное и удобное предоставление полноценной информации, позволяющей ориентироваться в пространстве и принимать решения; досягаемость мест целевого использования и беспрепятственный доступ и перемещение внутри зданий и сооружений; безопасность путей движения, возможность пользования всеми видами услуг, оказываемых на объектах.

НСРЗО включает в себя несколько компонентов. Во-первых, индивидуальное пользовательское устройство (специализированное абонентское устройство, предоставляемое поставщиком НСРЗО, смонтированное в едином корпусе и управляемое посредством кнопок и/или переключателей (не более 5 органов управления), либо устройство мобильной связи (личный телефон/смартфон пользователя с установленным специальным программным обеспечением). Обязательной является установка различного инфраструктурного оборудования коллективного пользования, устанавливаемого на общественных ТС, на пешеходных переходах, воспроизводящих посредством динамиков (громкоговорителей) звуковые сигналы и устные сообщений. Также оборудование можно установить на стационарных и временных объектах городской инфраструктуры, на жилых домах, на территориях общественных пространств. Взаимодействие между пользователем и инфраструктурным оборудованием осуществляется в локальных радиосетях. Необходимая информация поступает пользователю в виде устных (речевых) сообщений, аудиосигналов через встроенные/подключаемые к индивидуальному устройству проводные/беспроводные наушники. Происходит дублирование предупреждающих звуковых сигналов вибросигналами, радиус действия устройств должен быть не менее 10 м в условиях прямой видимости [5].

НСРЗО могут оказать неоценимую помощь и содействие для МГН по самостоятельному посещению объектов транспортной инфраструктуры – зданий вокзалов всех видов транспорта, ТПУ; станций метрополитена и железнодорожного транспорта; остановочных пунктов наземного пассажирского транспорта и др., снижая риски травмоопасных ситуаций и экономя время пассажиров на ориентировании в незнакомом общественном месте (особенно актуально для слабовидящих ЛСИ).

Также незаменимой для МГН и в целом для любых пассажиров такая система может стать на ТПУ при совершении мультимодальных путешествий. Наличие большого количества пассажирских платформ, билетных касс, залов ожидания, камер хранения, мест отдыха, торговой инфраструктуры и других структурно-функциональных зон и площадок, которые к тому же располагаются на разных уровнях (этажах), в условиях повышенной оживленности, шумности и дефицита времени может стать про-

блемой и дезориентировать посетителей, заставляя испытывать чрезмерное беспокойство и стресс. МГН могут быть подвержены этому в большей степени. К тому же в условиях увеличенных пассажиропотоков на ТПУ вероятность длительного ожидания помощи ССОСП возрастает.

Необходимо учесть, что для мультимодальных поездок также требуется обеспечить «бесперебойность мобильности» всех объектов в составе ТПУ: безбарьерная среда должна быть представлена удобными навигационными системами непрерывно и иметь идентичное воспроизведение информации для соответствующих типовых мест их установки.

Наличие понятной и доступной для всех пассажиров навигации (в т. ч. НСРЗО), спроектированной по принципам универсального дизайна, позволит чувствовать себя увереннее, поскольку на объекте обеспечена пошаговая доступность информации, и от пользователя требуются минимальные усилия для ее эксплуатации.

Благодаря легкодоступным информационным решениям при наличии общей архитектурной доступности объектов МГН в ряде случаев смогут самостоятельно пользоваться любыми видами транспорта, имеющимися в распоряжении ТПУ, чувствуя себя самодостаточными и независимыми.

Примером отечественной разработки НСРЗО является система «Говорящий город», которая успешно применялась на транспортной инфраструктуре во время проведения Олимпийских и Паралимпийских игр 2014 г. в г. Сочи. Система эксплуатируется в 43 регионах РФ (данные 2023 г.), проект отмечен множественными наградами [8].

Ознакомиться с картой доступных объектов, на которых применяется система «Говорящий город», можно на сайте, выбрав информацию по интересующему региону [9]. Например, в г. Санкт-Петербурге система установлена на всех основных вокзалах ОАО «РЖД» – Московском, Финляндском, Балтийском, Витебском, Ладожском; на большинстве станций метрополитена; на всем подвижном составе троллейбусов и трамваев, а также 900 единицах автобусов.

На федеральном уровне следует предусмотреть дополнительные меры поддержки субъектов РФ с целью снижения уровня существенной региональной дифференциации реализуемых мер по обеспечению доступности транспортного комплекса для МГН.

Библиографический список

1. Сводный аналитический доклад о результатах реализации мероприятий по обеспечению доступности для инвалидов в субъектах Российской Федерации транспортной инфраструктуры и транспортных

услуг за 2024 г. // Научный центр по комплексным транспортным проблемам Министерства транспорта Российской Федерации : сайт. – URL : https://nacmt.ru/uploads/files/2024_8b2e032229.doc. – Текст : электронный.

2. Безопасные качественные дороги // Национальные проекты России : сайт. – URL : <https://bkdrf.ru/?ysclid=mhd2lz5g2o429187995>. – Текст : электронный.

3. Вкладка «Маломобильным пассажирам». Страница «Центр содействия мобильности» // ОАО «РЖД» : официальный сайт. – URL : <https://www.rzd.ru/ru/9290?ysclid=mhcl711syz43353226>. – Текст : электронный.

4. Сводный план мероприятий по повышению доступности для инвалидов объектов транспортной инфраструктуры, транспортных средств и предоставляемых на них транспортных услуг на период с 2024 по 2030 гг. [утверждён Минтрансом России 27.03.2024] // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_480306/ – Текст : электронный.

5. ГОСТ Р 59431-2024. Система радиоинформирования и звукового ориентирования для инвалидов по зрению. Общие технические требования. – URL : <https://internet-law.ru/gosts/gost/84081/?ysclid=mhcfvup75m282917119>. – Текст : электронный.

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 08.12.2023 № 2086 «Об утверждении требований к региональному стандарту транспортного обслуживания населения» // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL : <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312110029?ysclid=mhclfw147845747068>. – Текст : электронный.

7. Конвенция ООН о правах инвалидов // Организация Объединённых Наций : сайт. – URL : https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/disability.shtml?ysclid=mhbtdbwdqy329498295. – Текст : электронный.

8. Система «Говорящий город». Вкладка «О компании». – URL : <https://speakingcity.org/about>. – Текст : электронный.

9. Система «Говорящий город». Вкладка «Карта объектов». – URL : <https://speakingcity.org/map/> – Текст : электронный.

С. С. Червоная

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОКЗАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РОССИИ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ ДОХОДНОСТИ ЗА СЧЁТ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА УСЛУГ И УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Вокзалы играют ключевую роль в транспортной инфраструктуре, обеспечивая перемещение миллионов пассажиров ежедневно. В условиях растущей конкуренции и изменяющихся потребностей клиентов, внедрение инновационных технологий становится необходимым для повышения доходности и улучшения качества обслуживания.

Ключевые слова: вокзал, пассажирский терминал, транспортно-пересадочный узел, экономическая эффективность, пассажиропоток, срок окупаемости.

В мире наблюдается тенденция смены традиционных вокзалов на многофункциональные терминалы. Пассажирский терминал – это комплекс, объединяющий станции международного и междугородного транспорта, городского пассажирского транспорта, паркинги, выполняющий общественно-деловые функции.

Строительство новых и модернизация старых вокзалов сопровождаются единым принципом размещения служб, что дает возможность пассажирам легко ориентироваться на вокзале любого крупного города. Справочно-информационные пункты оформляются одинаково, при этом используются единые шрифты в написании расписаний поездов и пиктограммы, понятные каждому человеку.

Камеры хранения помимо обычных ячеек оборудуются ячейками-холодильниками и отсеками для крупногабаритных предметов, а также столами для упаковки вещей с необходимыми для этого материалами.

В настоящее время железнодорожные вокзалы все больше выполняют презентационную, имиджевую функцию для города. Часто первое знакомство приезжего с городом происходит именно на железнодорожном вокзале, куда прибывает человек из другого города или страны. Вокзальные комплексы выполняют также культурную и историческую функции.

Для железнодорожных вокзалов России наметилась следующая система приоритетов: безопасность – качество – доступность – надёжность – эффективность. Все они находятся во взаимосвязи.

Среди наиболее значимых проектов можно назвать создание многофункциональных транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) Строительство ТПУ не только даёт возможность развивать инфраструктуру, но и создаёт так называемые точки активного экономического роста на территориях, где эти проекты реализуются.

ТПУ планируется создать на базе вокзала Пермь-2. Проект предусматривает строительство пассажирского терминала, общественно-делового центра, новых платформ, развитие путевого хозяйства и уличной сети.

Масштабный проект уже реализуется в столице. По соглашению с правительством Москвы к 2025 г. планируется создать 60 ТПУ, в которые войдут 30 железнодорожных станций, 42 станции метрополитена, а также пять междугородных автовокзалов.

Управление Московской железной дороги приняло решение о воссоздании на всех девяти столичных вокзалах часовен, до революции все железнодорожные вокзалы Москвы имели свои часовни.

Изучены различные технологии, которые позволили повысить рентабельность вокзальных комплексов и улучшить качество предоставляемых услуг. Таких как зарядка работниками и аренда компьютерных устройств, капсульные отели и плитка, при нажатии на которую вырабатывается энергия (кинетическая) и их возможный потенциал для вокзальных комплексов.

1. Зарядка работниками и аренда компьютерных устройств

Работники вокзальных комплексов производят зарядку мобильных портативных зарядных механизмов (power banks), а также представляют пассажирам услугу аренды для подзарядки своих мобильных устройств. Такие устройства размещаются в специальных автоматах, которые оплату принимают через мобильные приложения или банковские карты.

Преимущества:

– Преимущества для пассажиров: возможность поддерживать заряд мобильных устройств в любое время, особенно удобно для тех, кто ждет свой рейс, который задерживается или находится в пути.

Вокзалы могут получать доход от услуги зарядки и аренды устройств, что особенно важно в условиях высокой проходимости.

Размещение автоматов: устанавливать автоматы рекомендуется в зонах ожидания, кафе, на платформах, зонах отдыха и в других общественных местах.

Экономическая эффективность:

– Доходы: основной доход формируется за счет платы за аренду зарядных устройств. В зависимости от тарифов и количества пользова-

телей, доходы могут быть значительными, особенно в местах с высокой проходимостью.

– Затраты: включают первоначальные инвестиции в оборудование, его установку и обслуживание, а также оплату программного обеспечения и маркетинговые расходы.

Крупные вокзалы (высокий класс). Пассажиропоток – высокий (более 50,000 пассажиров в день). Высокий потенциал дохода благодаря большому количеству пользователей. Ежемесячный доход может составлять от 500,000 рублей в зависимости от тарифов и интенсивности использования.

Средние вокзалы (средний класс). Пассажиропоток средний (10,000–50,000 пассажиров в день). Умеренный ежемесячный доход может составлять от 200,000 рублей.

Малые вокзалы (низкий класс). Пассажиропоток низкий (менее 10,000 пассажиров в день). Низкий ежемесячный доход может составлять от 50,000 рублей.

Срок окупаемости обычно составляет от 6 до 18 месяцев в зависимости от интенсивности использования и стоимости аренды. В местах с высокой проходимостью, таких как крупные вокзалы, срок окупаемости может быть минимальным.

2. Капсульные отели

Проект капсульного отеля на территории вокзала представляет собой инновационное и экономически эффективное решение для комфортного краткосрочного отдыха в компактных, изолированных капсулах.

Благодаря продуманной организации работы, минимальному штату сотрудников и использованию существующей инфраструктуры вокзала, проект сочетает в себе доступность, удобство и высокий уровень сервиса.

Преимущества:

- комфорт для пассажиров: возможность отдыха и сна между рейсами, что особенно важно для транзитных пассажиров;
- эффективное использование пространства: капсулы занимают меньше места по сравнению с традиционными гостиничными номерами, что позволяет разместить большее количество мест для отдыха;
- дополнительный доход: вокзалы взимать плату за использование капсул, что приносит дополнительный доход.

Установка капсул в специально отведенных зонах, с удобным доступом к туалетам, душевым и другим удобствам. Интеграция с системами бронирования. Разработка онлайн-платформ для бронирования капсул.

Опросы пассажиров показывают, что капсульные отели пользуются популярностью благодаря своей доступности и удобству. Пассажиры

отмечают высокий уровень приватности и комфорта, особенно по сравнению с традиционными хостелами.

Экономическая эффективность:

Основной доход формируется за счет платы за проживание. Капсульные отели могут предлагать различные тарифы, включая почасовую оплату, что делает их привлекательными для транзитных пассажиров.

– Затраты включают первоначальные инвестиции в оборудование капсул, их установку и обслуживание, а также операционные расходы на уборку и управление.

Крупные вокзалы (высокий класс) – пассажиропоток высокий, значительное количество транзитных пассажиров. Высокий уровень дохода благодаря постоянному спросу на краткосрочное размещение. Ежемесячный доход может составлять от 1,000,000 до 3,000,000 рублей.

Средние вокзалы (средний класс) – пассажиропоток средний, умеренный спрос на услуги. Умеренный ежемесячный доход может составлять от 400,000 до 1,500,000 рублей.

Малые вокзалы (низкий класс) – пассажиропоток низкий, ограниченный спрос. Низкий ежемесячный доход может составлять от 100,000 до 500,000 рублей.

Срок окупаемости обычно составляет от 2 до 5 лет. В местах с высоким пассажиропотоком, таких как крупные вокзалы, срок окупаемости может быть сокращен до 1-2 лет.

3. Кинетическая плитка

Кинетическая плитка это особое инновационное покрытие. Эта плитка способна преобразовывать кинетическую энергию от шагов людей в электрическую энергию. Когда пассажир, при движении по плитке, нажимает на нее, происходит деформация микропьезоэлементов, таким образом вырабатывает электрический ток, который затем накапливается и используется для питания различных систем вокзала.

Кинетическая плитка рассчитана в основном крупные вокзалы, которые расположены в городах миллионниках, известные своим напряженным трафиком в пешеходной зоне пригородных пассажиров. Плитка водонепроницаема и это позволяет использовать ее как на улицах, так и внутри помещений.

Плитка изготавливается из гибкого водонепроницаемого материала, который получают при переработке утилизированных автомобильных крышек бывших в употреблении это придает плитке прочность и делает ее стойкой к истиранию, а также свидетельствует об ее экологичности.

Корпус плитки прочный, изготовлен из нержавеющей стали. При надавливании верхняя часть прогибается на несколько миллиметров, и заставляет преобразователь вырабатывать электричество.

Каждая плитка снабжена светодиодом, который загорается, если на плитку наступить. Пассажир видит этот эффект и убеждается о пользе сделанного шага.

Преимущества:

- Энергоэффективность: частично снижаются затраты на электроэнергию за счет использования возобновляемых источников.

- Инновационные преимущества: привлечение внимания к вокзальному комплексу как к современному и экологичному объекту, что может повысить его имидж и привлекательность, как для пассажиров, так и для партнеров.

Установка плитки: размещать кинетическую плитку необходимо в зонах с высокой проходимостью, это могут быть главные входы и выходы, зона движения пригородных пассажиров на посадку, переходы между платформами.

Системами освещения: использование энергии, которая вырабатывается плиткой, для питания систем освещения и других маломощных устройств.

Пассажиры позитивно воспринимают внедрение новых, инновационных экологических технологий, таких как кинетическая плитка. Опросы показывают, что такие инновации улучшают имидж вокзалов и повышают клиентоориентированность, особенно среди тех, кто заботится об экологии.

Экономическая эффективность:

- Основной экономический эффект заключается в уменьшении затрат на электроэнергию за счет использования энергии, которая вырабатывается плиткой.

- Затраты: достаточно высокие первоначальные инвестиции в приобретение и установку плитки и ее совместимость с существующей инфраструктурой.

Кинетическая плитка эффективна для крупных вокзальных комплексов (высокого класса: внеклассный, первый класс), где высокий пассажиропоток, и будет значительное количество шагов для генерации энергии.

Экономия на электроэнергии может составлять от 200,000 до 500,000 рублей в месяц, сопоставимо доходу от снижения эксплуатационных расходов. Тем самым быстрой окупаемости вложенных инвестиций.

Высокий пассажиропоток обеспечивает постоянный приток энергии, которая может использоваться для освещения, информационных табло и других мало энергоёмких систем вокзала.

Средние и малые вокзальные комплексы, где средний и низкий пассажиропоток, умеренная генерация энергии.

Экономия на электроэнергии небольшая от 50,000 до 100,000 рублей в месяц. Умеренное восполнение электроэнергии позволяет обеспечить питание части систем вокзала, снижая зависимость от внешних источников электроэнергии.

Таким образом, окупаемость инвестиций может быть более длительной. Ограниченная выработка энергии позволит обеспечить питание только небольших систем, таких как частичное освещение или информационные табло.

Срок окупаемости может варьироваться от 10 до 20 лет в зависимости от интенсивности использования и стоимости электроэнергии в регионе.

Резюме. Таким образом, повышение доходности вокзальных комплексов путем улучшения качества обслуживания и расширения спектра услуг, повышения клиентоориентированности выглядит следующим образом, крупные вокзалы обладают наибольшим потенциалом дохода благодаря высокому пассажиропотоку и спросу на услуги.

Средние вокзалы могут обеспечить умеренный доход, но требуют тщательного анализа спроса и тарифов.

Малые вокзалы имеют ограниченный потенциал дохода, и внедрение технологий может быть менее выгодным.

Внедрение новых технологий в вокзальные комплексы является перспективным направлением для повышения их доходности и улучшения качества обслуживания. Эти технологии не только обеспечивают экономическую выгоду, но и способствуют устойчивому развитию и повышению конкурентоспособности вокзалов на рынке транспортных услуг.

Библиографический список

1. Воронина, С. А. ФОС МДК 02.02 Организация пассажирских перевозок и обслуживание пассажиров : методическое пособие / С. А. Воронина. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. – 72 с. – URL : <http://umczdt.ru/books/1265/235834>. – Текст : электронный.

2. Организация железнодорожных пассажирских перевозок : учебное пособие / В. И. Солдаткин, Е. В. Покацкая, Т. А. Филатова,

Н. А. Муковнина ; Самарский государственный университет путей сообщения. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Самара : СамГУПС, 2008. – 99 с. // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : <http://umczdt.ru/books/1311/263271/> – Текст : электронный.

3. Организация пригородных железнодорожных перевозок : учебное пособие / Ю. О. Пазойский [и др.] ; под редакцией Ю. О. Пазойского. – Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. – 270 с. – URL : <http://umczdt.ru/books/1196/62155/> – ЭБ «УМЦ ЖДТ». – Текст : электронный.

4. Федеральный закон от 10 января 2003 г. «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации». – Текст : непосредственный.

РАЗДЕЛ 5. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ОХРАНА ТРУДА, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Н. Д. Авсеенко, Т. А. Гороян

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ЭНДЕМИЧНЫЙ ВИРУСНЫЙ КЛЕЩЕВОЙ ЭНЦЕФАЛИТ У РАБОТНИКОВ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В работе представлен материал, касающийся биологической опасности для населения Забайкальского края и работников Забайкальской железной дороги, в виде весенне-летнего клещевого энцефалита. Это инфекционное заболевание, развивающееся после укуса иксодового клеща, поражает нервную систему и способно привести к инвалидности. Работники железной дороги Забайкалья подвергаются систематическим медицинским осмотрам, а также значительное место в профилактике этого заболевания занимает санитарно-просветительская работа. Для более 50 профессий железнодорожников проводится вакцинация и ревакцинация против клещевого энцефалита.

Ключевые слова: эндемичный, иксодовый клещ, энцефалит, инвалидность, вакцинация, лейкоэнцефалит, летальность, просветительская работа.

В России об укусе клеща и болезни, которые они провоцируют, впервые узнали в 30-х гг. XX века, после того как произошло освоение сибирской и дальневосточной тайги в то время когда начали поступать первые жалобы о неизвестной очень серьезной болезни, поражавшей нервную систему. Однако, только в 1937 г. на поиски сведений об этой болезни в дальневосточную экспедиции был отправлен профессор Лев Александрович Зильбер, который сообщил о переносчике этой болезни – клещах, клещи являющиеся резервуаром для переноса вирусом болезни. После укуса клещ с 3 мм размером увеличивается до 10 мм. Это заболевание называли весенне-летним, или клещевым энцефалитом. Как известно, в Забайкальском крае существует несколько видов иксодовых клещей, которые просыпаются в основном в конце марта и более активны в мае. При укусе клеща вирус проникает в организм человека через кожу и разносится по лимфатическим путям, инфицирует клетки крови и другие внутренние органы и достигает мозга, в котором происходит дли-

тельное присутствие и размножение вируса. Признаки болезни начинаются остро: резкий подъем температуры тела до 39 или 40 °С и выше, озноб, слабость, головная боль, мышечные боли, повышенная чувствительность к различным внешним раздражителям, боль в глазных яблоках, тошнота, иногда рвоты. Отмечается покраснение кожи лица, шеи, туловища, видны сосуды склер, возникает конъюнктивит. Сознание у таких больных как правило сохраняется, но они бывают заторможены, сонливы. Осложнения острого энцефалита могут приводить к параличу и даже к смерти. Заболевание может протекать в виде воспаления мозга, вызванного вирусом (первичный энцефалит), а может быть вторичный энцефалит, который развивается как осложнение других инфекционно-воспалительных процессов, вызванных укусом иксодовых клещей. Энцефалит по темпам развития может быть сверхострый, т. е. развивается за несколько часов и, как результат, смерть или инвалидность ожидает человека. Может перейти в подострый и хронический, когда после острого периода или без него, а состояние ухудшается постепенно с периодами обострения и затихания симптомов, а может протекать как рецидивирующий, когда после кажущегося выздоровления симптомы заболевания возникают вновь. Скорость развития энцефалита зависит от свойств возбудителя, попавшего в организм, а также от реакции иммунной системы человека. По распространённости: лейкоэнцефалит – страдает преимущественно белое вещество мозга, которое составляет большую часть его объёма; полиоэнцефалит – в воспалительный процесс вовлечено серое вещество, которое находится в стволе мозга; панэнцефалит – воспаление затрагивает все области мозга [1, 2]. По локализации: корковый – воспаление и нарушение работы разных областей коры головного мозга; подкорковый – воспаление мозговых структур, связанных с обработкой эмоций и поведения; стволотой – затрагивает ствол мозга (структуру, соединяющую головной и спинной мозг); мозжечковый – воспаление мозжечка (области мозга, которая играет важную роль в координации движений и поддержании равновесия). По тяжести энцефалит бывает среднетяжёлым, тяжёлым и крайне тяжёлым. Степень зависит от причины заболевания, локализации патологического процесса (т. е. от того, какие структуры мозга воспалены), а также возраста и общего состояния здоровья пациента. Последствия клещевого энцефалита бывает инвалидизация со стороны ЦНС (центральной нервной системы), параличи, когнитивные нарушения и др. Летальность при весенне-летнем клещевом энцефалите составляет 25 %. В 2023 г. уровень заболеваемости энцефалитом вырос в Забайкальском крае. «Максимальная цифра заболевших энцефалитом за 40 лет наблюдений примерно более

ста случаев за год. Роспотребнадзор Забайкальского края зафиксировал 42 случая клещевого энцефалита с начала 2023 г., *три из них закончились летально*. В 2022 г. первый укус клеща был зарегистрирован 25 февраля в посёлке Атамановка. Если посмотреть данные за пять лет, то подобное было в 2017 г. В настоящее время каждый эпидемический сезон характеризуется ранним началом и высокой активностью клещей. На Рисунке представлена диаграмма увеличения укушенных людей клещами в Забайкальском крае. Количество укусов клещей у человека в Забайкальском крае с 2019 г. по 2022 г. показывает, что с каждым годом случаи укусов клещей учащаются. Это связано с ранним потеплением, т. к. для клещей температуры воздуха выше пяти градусов является достаточной для их пробуждения.

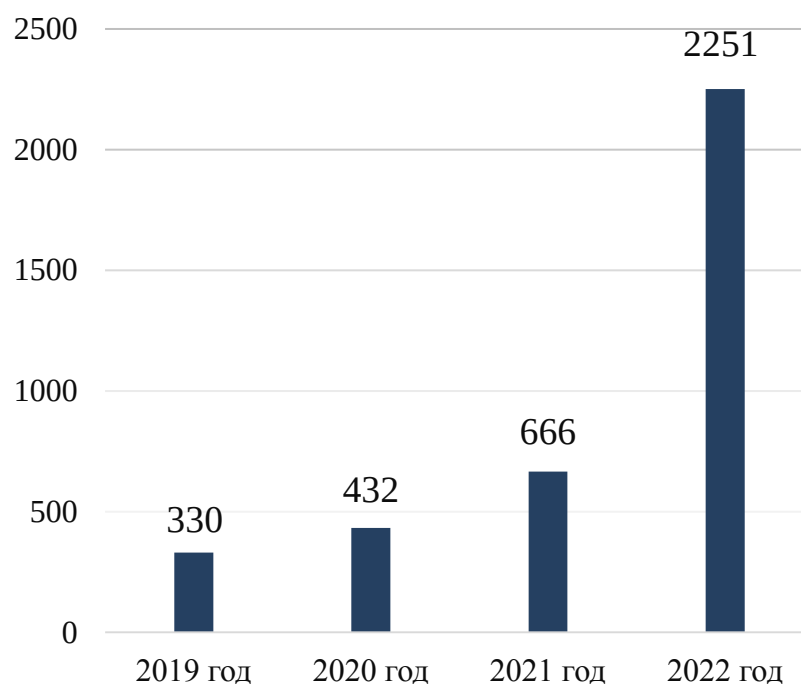


Рис. 1. Диаграмма случаев укусов клещей с 2019 по 2022 гг.

На конец лета 2023 г. всего в Забайкалье пострадали 2251 человек, из них 568 дети. В Чите были укушены 433 человека, в т. ч. 83 ребенка. По районам Забайкальского края лидерами по числу укусов стали следующие районы: Читинский (288 укусов), Красночикойский (167 укусов), Дульдургинский (125 укусов), Агинский (119 укусов) и Хилокский (101 укус). Меньше всего людей, помимо Краснокаменского района, пострадало в Тунгиро-Олекминском (3 укуса), Каларском (4 укуса) и Забайкальском (9 укусов) районах.

Согласно данным Роспотребнадзора по Забайкальскому краю профилактику клещевого энцефалита делят на общую и специфическую. Общая профилактика заключается в индивидуальной защите от клещей. Для этого используют специальную одежду, маски, репелленты (средства, отпугивающие клещей). Особенно важным является осмотр людей после прогулок в лесах, парковых зонах, и максимально быстрое удаление клеща с тела человека, т. к. время высасывания крови влияет на количество возбудителя в крови и на тяжесть течения заболевания, а также следует избегать использование не кипяченого молока.

Самым эффективным и надежным методом является специфическая профилактика в виде вакцинации и лучше всего с целью профилактики заболевания. У привитых людей, если и возникает заболевание, то протекает в лёгкой форме и без осложнений. В Забайкальском крае каждый год проводится прививочная компания против вирусного клещевого энцефалита. По данным Роспотребнадзора по Забайкальскому краю в 2022 г. с января по апрель было привито 12481 человек, из них более 6700 являются сотрудниками Забайкальской железной дороги, причем 1900 человек вакцинированы первично, а 4800 прошли повторную вакцинацию. Как установлено, обязательной иммунизации подлежат представители более 50 профессий железной дороги, например машинисты электропоездов и тепловозов, дежурные по переезду, составители поездов, монтеры и обходчики пути и др. С начала эпидсезона 2024 г. в медицинские организации АО «РЖД – Медицина» обратились 1524 человека по поводу укуса клеща. На объектах контроля Управления Роспотребнадзора по железнодорожному транспорту против клещевого весенне-летнего энцефалита вакцинировано 77234 человека, в т. ч. из групп риска более 51 тысячи человек. Параллельно с вакцинированием на предприятиях Забайкальской железной дороги проводится большая просветительская работа потому как необходимо одеваться при выходе в лес или поле (закрытая одежда с резинками на брюках и рукавах, в капюшонах), какие признаки укуса клеща и признаках болезни, а также о необходимости обращения за медицинской помощью в этих случаях [1, 2, 3].

Библиографический список

1. Ильинских, Е. Н. Клещевой энцефалит : учебное пособие / Е. Н. Ильинских, А. В. Лепехин, Л. В. Лукашева, Е. В. Портнягина, Ю. В. Ковширина, Е. В. Замятина, Н. Г. Жукова. – Томск, 2015. – 36 с. – Текст : непосредственный.
2. Злобин, В. И. Клещевой энцефалит в Восточной Сибири / В. И. Злобин, В. А. Борисов, М. М. Верхозина. – Иркутск : РИО ВСНЦ СО РАМН, 2002. – 184 с. – Текст : непосредственный.

3. Санитарно-эпидемиологические правила СПЗ.1.3.2352-08 «Профилактика клещевого вирусного энцефалита» // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – Текст : непосредственный.

Р. Г. Ахтямов

*Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

**ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ
ВСЛЕДСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
НА СНИЖЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗОЛЯЦИИ
КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Актуальность работы обусловлена наблюдаемым увеличением частоты и интенсивности паводков и роста среднего уровня влажности, что создаёт экстремальные условия для длительно эксплуатируемых кабельных линий. Целью статьи является комплексный анализ взаимосвязанных процессов коррозии металлических элементов и снижения диэлектрических свойств изоляции кабелей при длительном воздействии влажности и повторяющихся затоплений. Особое внимание уделено синергетическому эффекту, при котором продукты коррозии ускоряют старение изоляции, а её деградация способствует дальнейшему развитию коррозионных процессов. Смоделированы сценарии комплексных отказов, приводящих к нарушениям функциональности СЦБ, таким как ложные срабатывания, обрывы цепей и рост уровня электромагнитных помех.

Ключевые слова: системы СЦБ, кабельные сети, коррозия, диэлектрические свойства, сопротивление изоляции, влажность, паводки, надёжность, железнодорожная автоматика.

Обеспечение бесперебойного и безопасного движения поездов является одной из приоритетных задач железнодорожного транспорта. Ключевую роль в её решении играют системы сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), отказоустойчивость которых напрямую определяет уровень эксплуатационной надёжности всей инфраструктуры. При этом кабельные сети, являясь основой системы СЦБ, связывающей удалённые объекты и центральные посты управления, оказывают-

ся одним из наиболее уязвимых элементов. Их протяжённость, частота расположения в грунтах и кабельных канализациях делают их высоко уязвимыми для климатических изменений. В условиях наблюдаемых климатических изменений, характеризующихся ростом частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, таких как паводки и наводнения, а также повышением среднего уровня влажности, проблема деградации кабелей СЦБ приобретает особую остроту [1].

Анализ отказов в работе устройств СЦБ показывает, что значительная их часть связана с ухудшением состояния кабельной изоляции и коррозией токопроводящих жил. Традиционные подходы к проектированию и эксплуатации кабельных линий не в полной мере учитывают потенциал синергетического эффекта от комбинированного воздействия факторов климатического риска. В то время как вопросы коррозии металлов в грунтах и влияния влаги на диэлектрики изучаются достаточно давно, комплексных исследований, посвящённых именно кабелям СЦБ в условиях повторяющихся паводков, явно недостаточно. Существующие работы, как правило, сосредоточены на одной из сторон проблемы: либо на электрохимической коррозии [2], либо на старении полимерной изоляции [3].

Целью настоящей статьи является анализ механизмов деградации кабелей СЦБ при воздействии повышенной влажности и повторяющихся паводков.

Надёжность функционирования кабельных сетей систем СЦБ в условиях повышенной влажности и паводков в значительной степени определяется конструктивными особенностями применяемой кабельной продукции.

Основным токопроводящим элементом являются жилы, изготавливаемые из медной проволоки или алюминия. Медь, несмотря на более высокую электропроводность, склонна к электрохимической коррозии в присутствии влаги и кислорода, особенно в условиях блуждающих токов, характерных для железнодорожной инфраструктуры [2]. Важнейшим элементом является изоляция жил, для которой традиционно применяются поливинилхлоридные (ПВХ) пластикаты, реже – полиэтилен. Гигроскопичность ПВХ относительно невысока, однако содержащиеся в нем пластификаторы (например, диоктилфталат) склонны к миграции и гидролизу при длительном контакте с влагой, что приводит к потере эластичности и растрескиванию изоляции [3].

Факторы риска можно классифицировать по механизму воздействия. Повышенная влажность действует как хронический фактор. Даже при отсутствии прямого затопления, влага конденсируется в кабельной

канализации, а капиллярный эффект способствует её подсосу через микротрещины в оболочке и по торцевым срезам кабеля. Этот процесс приводит к постепенному насыщению изоляции влагой. Прямое затопление является острым фактором. Погружение кабеля в воду, которая в условиях железнодорожной инфраструктуры часто содержит растворенные хлориды, сульфаты и углеводороды, резко интенсифицирует все деграционные процессы. Циклический характер паводков, приводящий к повторяющимся циклам «намокание-высыхание», создаёт дополнительные механические напряжения в материалах и способствует миграции солей вглубь конструкции. Наконец, механические воздействия во время паводка (гидродинамический напор, перенос взвешенных частиц) могут привести к локальным повреждениям оболочки, открывая прямой путь для проникновения агрессивной среды к экрану и изолированным жилам [4].

Таким образом, конструкция кабелей СЦБ, несмотря на наличие защитных элементов, имеет ряд уязвимостей, которые в совокупности с комплексным воздействием влажностных и механических факторов паводковой среды создают предпосылки для ускоренной деградации как металлических, так и полимерных компонентов.

Для кабелей СЦБ наиболее характерны следующие виды коррозии:

1. Точечная коррозия является наиболее опасной для токопроводящих жил и экранов из-за высокой скорости проникновения и высокого отношения глубины к его диаметру. Локализация процесса приводит к быстрому образованию сквозных дефектов в тонкостенных экранах и к обрыву жил малого сечения.

2. Щелевая коррозия развивается в зазорах под повреждённой изоляцией, в местах контакта жил с заполнителем или в негерметичных муфтах.

3. Межкристаллитная коррозия, хотя и менее распространена, может возникать в дефектных участках медной проволоки, приводя к потере механической прочности и хрупкому разрушению.

Последствия коррозии для функциональности кабеля многогранны. Наиболее очевидным является увеличение переходного сопротивления и, как следствие, рост затухания сигнала, что критично для аналоговых систем связи СЦБ. Локальная коррозия приводит к обрыву тонких жил, вызывая полный отказ цепи. Нарушение целостности экрана, будь то медная оплётка или алюмополимерная лента, резко снижает защиту от электромагнитных помех, увеличивая уровень ошибок в цифровых системах передачи данных [5]. Кроме того, образующиеся продукты коррозии, такие как оксиды и соли меди (малахит, азурит), обладают

значительным объёмом. Их накопление под изоляцией создаёт механическое давление, способствующее растрескиванию полимерного материала, и ухудшает теплоотвод, что в совокупности ускоряет старение изоляции. Электрохимическая миграция ионов меди через влажную изоляцию является катализатором процесса образования дендритов, снижая электрическую прочность диэлектрика [6].

Таким образом, коррозия металлических элементов кабеля не является изолированным процессом, а выступает как запускающий и усиливающий фактор для последующей деградации изоляционной системы в целом.

Деградация изоляционных материалов кабелей СЦБ в условиях повышенной влажности представляет собой комплекс физико-химических процессов, приводящих к необратимому ухудшению диэлектрических характеристик. Основным каналом проникновения влаги в конструкцию кабеля является диффузия молекул воды через полимерную матрицу оболочки и изоляции жил.

С точки зрения электрофизических свойств, насыщение изоляции влагой вызывает резкое снижение удельного объёмного сопротивления на несколько порядков. Это связано с ионной проводимостью, возникающей при диссоциации примесей и самих молекул воды в полимере под действием электрического поля.

Для кабелей, подвергшихся затоплению, характерно явление абсорбции – постепенного проникновения влаги вглубь диэлектрика, что существенно искажает результаты измерений сопротивления изоляции мегомметром. Медленная поляризационная релаксация во влажном диэлектрике маскирует истинное состояние изоляции, и для её объективной оценки необходимо применение методов релаксационной спектроскопии [6].

Синергетический эффект от совместного воздействия влаги и продуктов коррозии металлических элементов кабеля усугубляет деградационные процессы. Ионы меди, мигрирующие из корродирующих жил или экрана, выступают в качестве катализаторов окисления полимера и снижают трекинговость изоляции. Таким образом, деградация изоляции и коррозия металлических элементов образуют положительную обратную связь, многократно ускоряя общий процесс старения кабеля.

Проведённый анализ позволяет выявить наличие синергетического эффекта при совместном воздействии коррозии металлических элементов и деградации полимерной изоляции кабелей СЦБ под воздействием факторов климатического риска. Данный эффект не является простой суммой двух процессов, а представляет их взаимное усиление, приводя-

щее к ускоренному катастрофическому отказу. Продукты коррозии, в частности гидратированные ионы меди и образующиеся соли, выступают в роли прооксидантов и электролитов, катализирующих процессы окислительной деструкции полимерной матрицы изоляции и снижающих её трекинговость [4].

На основе установленных механизмов деградации можно смоделировать следующие критические сценарии отказов для систем СЦБ под воздействием факторов климатического риска:

1. Сценарий короткого замыкания между жилами, при котором потеря диэлектрической прочности изоляции между разноимёнными жилами приводит к меж жильному пробое. В цепях постоянного тока СЦБ это вызывает несанкционированное срабатывание реле, блокировку маршрутов или ложное переключение светофоров, что создаёт прямую угрозу безопасности движения.

2. Сценарий обрыва цепи, при котором локализованная точечная коррозия токопроводящей жилы, усугублённая механическими напряжениями от набухшей и растрескавшейся изоляции, приводит к обрыву. Последствием является полная потеря управляемости исполнительным реле или датчиком.

3. Сценарий деградации сигнала и помехоустойчивости, при котором коррозия и нарушение целостности экрана, сопровождаемые снижением сопротивления изоляции, приводят к росту затухания сигнала и резкому увеличению уровня внешних электромагнитных помех.

Проведённый анализ позволил установить комплексный характер деградации кабельных сетей СЦБ в условиях повышения влажности и повторяющихся паводков в условиях меняющегося климата. Данная проблема выходит за рамки простого суммирования отдельных видов повреждений и характеризуется выраженным синергетическим эффектом. Установлено, что электрохимическая коррозия металлических элементов (токопроводящих жил, экранов) и физико-химическая деградация полимерной изоляции взаимно интенсифицируют друг друга. Продукты коррозии катализируют старение диэлектрика, а разрушение изоляции открывает пути для ускоренной доставки агрессивных агентов к металлу, формируя положительную обратную связь, которая приводит к катастрофическому сокращению ресурса кабеля.

Выявлены ключевые механизмы отказов, такие как короткие замыкания между жилами вследствие потери диэлектрической прочности, обрывы цепей из-за локализованной коррозии, и деградация сигнала на фоне нарушения целостности экрана и роста помех. Смоделированные сценарии демонстрируют, что последствия выходят за рамки ло-

кальных повреждений, создавая системные риски для безопасности движения в виде ложных занятости, потери управляемости и сбоев в системах передачи данных.

При проектировании новых и модернизации существующих линий следует отдавать предпочтение прокладке кабелей в непроницаемых лотках, коробах или по опорам, исключающих длительный контакт с водой. Повышенное внимание должно уделяться герметичности муфт, соединителей и вводов в аппаратуру.

Целесообразно внедрение системы мониторинга, включающей регулярные измерения импеданса изоляции, тангенса угла диэлектрических потерь и потенциалов блуждающих токов в паводкоопасный период и после него. Разработка специализированных регламентов, предписывающих внеочередную диагностику кабельных трасс после каждого значительного затопления.

Таким образом, противодействие деградации кабельных сетей СЦБ в условиях современных климатических изменений требует перехода от реактивной тактики устранения отказов к проактивной стратегии, основанной на глубоком понимании разрушающих процессов и реализации комплексных инженерно-технических решений.

Библиографический список

1. Быкова, О. В. Влияние природно-климатических условий на работу железнодорожного транспорта на примере Северной железной дороги / О. В. Быкова. – Текст : непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – 2025. – № 2. – С. 120–132.

2. Глухарев, Ю. Д. К вопросу о блуждающих токах при эксплуатации электрифицированного рельсового транспорта / Ю. Д. Глухарев, М. Н. Гладков. – Текст : непосредственный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 1999. – № 1. – С. 165–167.

3. Олексюк, И. В. Старение изоляции из сшитого полиэтилена кабельных линий / И. В. Олексюк. – Текст : непосредственный // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 2. – С. 121–129.

4. Гасанов, З. С. Электрохимическая коррозия при протекании токов утечки / З. С. Гасанов, С. Г. Тульская, А. И. Коровкина, М. Г. Барков. – Текст : непосредственный // Инновационная наука. – 2023. – № 1-1. – С. 8–15.

5. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений / А. А. Бобцов, В. И. Бойков, С. В. Быстров, В. В. Григорьев, П. В. Ка-

рев. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2017. – 134 с. – Текст : непосредственный.

6. Бушуев, С. В. Методы измерения переходного сопротивления токопроводящего стыка / С. В. Бушуев, К. В. Гундырев. – Текст : непосредственный // Молодые учёные – транспорту : труды IV научно-технической конференции (20-21 марта 2003 г.). – Екатеринбург : УрГУПС, 2003. – С. 121–126.

Д. В. Бесполитов, Е. А. Агеев

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КРУПНОТОННАЖНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Изучены химический, фазовый состав, физико-химические свойства отсева дробления, золошлаковых отходов (Забайкальский край) и вяжущего, а также установлена их пригодность для получения композиционных материалов. Выявлена зависимость физико-механических свойств композиционных материалов от массовых долей вяжущего и золошлаковой составляющей. Установлено, что оптимальным является введение в состав модифицированных композитов 8 мас. % вяжущего и 10–20 мас. % золошлаковых отходов.

Ключевые слова: композиционные материалы, золошлаковые отходы, утилизация отходов, дорожное строительство.

Цель настоящей работы заключалась в изучении возможности утилизации вторичного минерального сырья в составах композиционных материалов с заданными свойствами, модифицированных высокомолекулярными соединениями. Массовые доли отсева дробления (ОД), золошлаковых отходов (ЗО), портландцемента (П) устанавливали экспериментальным путем. Эксплуатационные характеристики модифицированных композиционных материалов изучали по ГОСТ 23558-94 при полном водонасыщении (ПВ) образцов в возрасте 28 суток. Химический состав минерального сырья изучали методом ИСП-АЭС (спектрометр эмиссионный Optima 5300DV, 167-403 нм, PerkinElmer). Фазовый состав изучали методом порошковой дифракции (рентгеновский дифрактометр D8 Advance BRUKER AXS, 40 кВ, 40 мА, излучение $\text{CuK}\alpha$,

шаг сканирования 0,02 °, экспозиция 1 с, программное обеспечение EVA Diffrac^{plus}). Структурные особенности изучали методом инфракрасной спектроскопии (ИКС, инфракрасный Фурье спектрометр FTIR-8400S, SHIMADZU, KBr).

Выявлено, что показатель удельной эффективной активности ЕРН не превышает 370 Бк/кг, следовательно, исходные отходы могут быть использованы в дорожном строительстве (ГОСТ 30108-94).

Химический состав ОД, ω, %: 49,63 SiO₂; 13,92 Al₂O₃; 8,81 CaO; 5,83 Fe₂O₃; 5,03 MgO; 2,62 Na₂O; 2,44 K₂O; 0,71 TiO₂; 0,22 P₂O₅; 0,13 MnO; 9,21 – п.п.п.; 1,65 – п.м. Фазовый состав: альбит, кварц, кальцит, клинохлор, доломит. ИКС, ν см⁻¹: 1431, 880, 721 (CO₃²⁻); 3621, 3422, 1628 (OH); 1030, 1009, 463, 436 (Si-O-Si).

Химический состав ЗО, ω, %: 53,03 SiO₂; 20,61 Al₂O₃; 9,21 CaO; 8,53 Fe₂O₃; 1,44 MgO; 1,43 K₂O; 1,21 TiO₂; 0,70 SO₃; 0,61 SO₃; 0,42 CaO_{св}; 0,33 MnO; 0,23 Na₂O; 1,12 C; 1,84 – п.п.п. Фазовый состав: рентгеноаморфная фаза, кальцит, кварц, полевошпат, гётит. ИКС, ν см⁻¹: 1454, 1435, 876 (CO₃²⁻); 797, 779 692, 671 (SiO₂); 3458 (OH); 1092, 461 (Si-O-Si(Al)); 563 (Fe-O-Fe).

Химический состав П, ω, мас. %: 36,6 CaO; 27,9 SiO₂; 6,8 Al₂O₃; 4,4 Fe₂O₃; 4,0 MgO; 2,8 SO₃. Фазовый состав: белит, портландит, алит, кварц.

Физико-механические свойства композиционных материалов, модифицированных высокомолекулярными соединениями (ω = 0,8 мас. %), в зависимости от доли П и ЗО представлены на Рисунке. Марка по морозостойкости всех изученных образцов составила >F15.

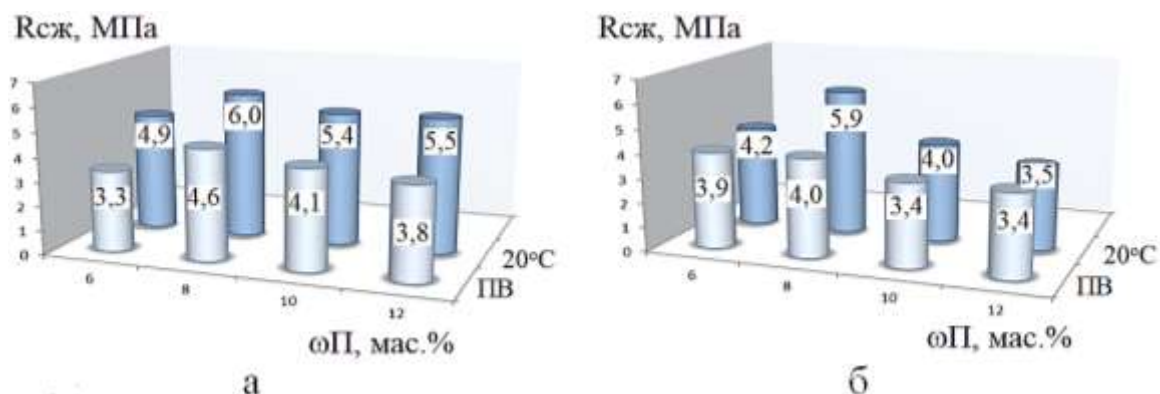


Рисунок. Зависимость физико-механических свойств от массовой доли П и ЗО:
а – 10 мас. %; б – 20 мас. % при ПВ и при 20 °С

Установлено, что введение модифицирующей добавки на основе высокомолекулярных соединений способствует повышению прочностных характеристик композиционных материалов. Оптимальные эксплуатационные свойства образцов отмечены при массовой доле П 8 мас. %. Таким образом, изучаемые крупнотоннажные отходы могут быть использованы в качестве вторичного минерального сырья при получении модифицированных дорожно-строительных композиционных материалов.

Н. В. Дубинин

*Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
г. Санкт-Петербург, Россия*

ПРОБЛЕМЫ КВАЛИФИКАЦИИ НЕДОБРОСОВЕСТНОЙ КОНКУРЕНЦИИ

В условиях глобализации и цифровизации экономики недобросовестная конкуренция приобретает новые формы, становясь одной из ключевых угроз экономической стабильности, подрывающей принципы честного рынка. В статье проводится анализ квалификации форм недобросовестной конкуренции, затрагиваются критерии разграничения добросовестной конкуренции от недобросовестной. Рассматриваются проблемы доказывания умысла правонарушения, факта причинения вреда, а также экономические последствия использования недобросовестных методов конкуренции как для субъектов рынка, так и для рынка в целом. Автор доказывает, что недобросовестная конкуренция сложна в идентификации из-за отсутствия чётких критериев в законе, необходимости устанавливать умысел и трудностей в подтверждении причинно-следственной связи.

Ключевые слова: недобросовестная конкуренция, добросовестная конкуренция, защита конкуренции, дискредитация, введение в заблуждение, необоснованное сравнение, использование чужой интеллектуальной собственности.

В условиях глобализации и цифровизации экономики недобросовестная конкуренция приобретает новые формы, становясь одной из ключевых угроз экономической стабильности, подрывающей принципы честного рынка. Несмотря на существующее правовое регулирование, проблема остается актуальной из-за изощренных методов нарушителей. По данным Федеральной антимонопольной службы (ФАС) России,

в 2024 г. количество поступивших заявлений о фактах недобросовестной конкуренции составило 2919, из них возбуждено 243 дела о нарушении антимонопольного законодательства [1]. Подобные практики не только наносят ущерб добросовестным участникам рынка, но и дестабилизируют экономику в целом, снижая доверие потребителей и инвесторов.

Ст. 4 ФЗ № 135-ФЗ «О защите конкуренции» дает правовое определение недобросовестной конкуренции: «Любые действия хозяйствующего субъекта (группы лиц), которые противоречат законодательству РФ, обычаям делового оборота, требованиям добропорядочности, разумности и справедливости и причинили или могут причинить убытки другим хозяйствующим субъектам – конкурентам либо нанесли или могут нанести вред их деловой репутации» [2].

В. И. Еременко формулирует определение недобросовестной конкуренции, как «любое виновное действие, противоречащее деловым обычаям, профессиональной этике или добропорядочности при осуществлении хозяйственной деятельности в целях конкуренции, которое причиняет или может причинить вред» [3, с. 29].

Газзаева М. Т. отмечает, что недобросовестной конкуренцией являются противоправные действия хозяйствующих субъектов, которые противоречат законодательству и общепризнанным нормам деловой этики, причиняя ущерб другим участникам рынка, которые несут убытки. Недобросовестная конкуренция направлена на получение доминирующего положения в предпринимательской деятельности, которое нарушает закон, принципы добропорядочности, причиняют убытки конкурентам, вводят потребителей и деловых партнеров в заблуждение [4, с. 76–78].

В главе 2.1. ФЗ № 135 «О защите конкуренции» определены виды форм недобросовестной конкуренции [2], к которым относятся:

1) дискредитация, что подразумевает распространение заведомо ложных, неточных или искаженных данных, которые могут навредить деловой репутации конкурента;

2) введение в заблуждение, которое заключается в манипулировании представлениями покупателей о свойствах продукции. Это может выражаться в имитации брендовой упаковки, использовании сходных товарных знаков или названий, что вводит потребителей в заблуждение, создавая ложное восприятие товара;

3) необоснованное сравнение, т. е. это противопоставление своего товара или бренда продукции конкурентов без должных оснований. Такая практика вводит потребителей в заблуждение, создавая ложное впечатление о превосходстве продукта;

4) использование чужой интеллектуальной собственности, которое заключается введением потребителей в заблуждение и, как следствие, получения доминирования на рынке путем копирования узнаваемых визуальных и текстовых атрибутов конкурентов;

5) запрет на недобросовестную конкуренцию при использовании результатов интеллектуальной деятельности, то есть незаконное использование результатов интеллектуальной деятельности, за исключением средств индивидуализации, принадлежащих хозяйствующему субъекту-конкуренту.

6) запрет на недобросовестную конкуренцию, связанную с созданием смещения – использование товарных знаков, фирменных наименований и коммерческих обозначений конкурента, что может вызвать смещение у потребителей, а также на имитацию, либо прямое копирование, индивидуализирующей продукцию конкурента.

7) использование и распространение коммерческой или иной охраняемой законом тайны – противоправные действия, связанные с эксплуатацией коммерческих секретов и иных конфиденциальных и защищаемых законом данных, которые представляют коммерческую ценность и не предполагают передачу третьим лицам. Незаконное получение коммерческой тайны регулируется законом «О коммерческой тайне» [5, 6], а ответственность за причастность к промышленному шпионажу предусмотрена ст. 183 УК РФ [7].

К видам недобросовестной конкуренции определяются такие виды деятельности как подкуп и воздействие на сотрудников соперничающей компании с целью незаконного получения конфиденциальных данных или конкурентных преимуществ через коррупционные механизмы, включая угрозы, создание искусственных препятствий в работе и организацию бойкота. К недобросовестным методам также относится демпинговая ценовая политика – искусственное занижение цен до уровня, неприемлемого для других участников рынка, с целью вытеснения конкурентов, не способных поддерживать аналогично низкую стоимость продукции [8, с. 49-50, 115–127]. Не смотря на то, что в законе «О защите конкуренции» отсутствует понятие демпинга, согласно п. 17 ст. 4 Закона снижение цены является признаком ограничения конкуренции, а в соответствии с п. 2 ч. 1 ст. 11 и 11.1. Закона [2] поведение, которое приводит к снижению цен на торгах, признается противоправным. Антидемпинговые требования изложены в ст. 37 закона «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» [9].

Парижская конвенция [10], которая является первым в мире документом регламентирующим охрану прав на промышленную собственность по охране промышленной собственности, определяет следующие виды недобросовестного соперничества:

- деятельность с использованием достижений или известности чужого бренда для продвижения собственного продукта без вложения средств в создание уникальной ценности и узнаваемости конкурента;

- умышленные действия, направленные на подрыв доверия к конкуренту путем распространения недостоверной информации о его деятельности, товарах или услугах, т. е. порочащих деловую репутацию другого участника рынка;

- введение потребителя в заблуждение путем маркетинговых уловок, когда товару намеренно приписываются свойства, которыми он не обладает, с целью искусственного повышения его привлекательности.

Разграничение добросовестной и недобросовестной конкуренции проводится по целям и методам ведения конкурентной борьбы.

Добросовестная конкуренция способствует здоровому развитию рынка, тогда как недобросовестная подрывает его основы, создавая искусственные барьеры и искажая принципы равных возможностей за счет нарушений правил, введения в заблуждение и устранение конкурентов, что приводит к дестабилизации рынка, монополизации, нарушению норм и обычаев делового оборота, созданию искусственных барьеров.

Говоря о критериях разграничения добросовестной конкуренции от недобросовестной по методам, то стоит упомянуть, что добросовестная конкуренция использует четкую рекламу, улучшение качества продукции, снижение цен за счет эффективности, лицензионные соглашения и патенты, конкурентные цены, прозрачные условия, тогда как недобросовестная конкуренция использует ложную рекламу, подкуп клиентов, подделка товаров и копирование брендов, демпинг, промышленный шпионаж и распространение ложной информации, навязывание дополнительных услуг.

По критериям разграничения добросовестной конкуренции от недобросовестной в части правового соответствия стоит сказать, что добросовестная конкуренция соответствует законодательству, деловому обороту и этическим нормам, когда как недобросовестная конкуренция нарушает прямые запреты законодательства, принципы добросовестности и справедливости, права потребителей и других участников рынка.

С точки зрения субъективной стороны у добросовестной конкуренции отсутствует умысел причинения вреда. Действия ее направлены на развитие бизнеса, а не на подрыв конкурентов, нет намерения ввести

в заблуждение конкурентов или нарушить закон. У недобросовестной конкуренции, напротив, присутствует прямой или косвенные умыслы, например, подделка бренда распространение непроверенных слухов или некорректное сравнение товаров без проверки данных, что можно отнести к грубой неосторожности.

Примером недобросовестных методов, таких как дискредитация, может служить дело в отношении ООО «СЭЛ» о нарушении антимонопольного законодательства, действия которого содержали ложные сведения в отношении деятельности конкурента и имели все признаки нарушения ст. 14.1 ФЗ «О защите конкуренции» [11]. В случае паразитирования на чужой репутации можно привести в качестве примера недобросовестной конкуренции дело, рассмотренное Судом по интеллектуальным правам в отношении ООО «Александровы погреба» об отмене решения Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатента) принятого по результатам регистрации обозначения «Bucephal» в качестве товарного знака. Компания Black Stallion Winery является правообладателем словесного товарного знака «BUCEPHALUS» по международной регистрации № 966644, зарегистрированного 30.05.2008 в отношении товаров «вино», правовая охрана которому представлена в США, странах Европейского союза, Австралии, Японии. Коллегия судей пришла к выводу о том, что в действиях ООО «Александровы погреба» содержатся признаки паразитирования на чужой репутации и подав заявку на регистрацию такого обозначения, пыталось получить необоснованные преимущества за счет уже существующего бренда элитных алкогольных напитков. Соответствующие противоправные с точки зрения статьи 10. bis Парижской конвенции действия не имеют права на существование безотносительно к конкретному перечню товаров и услуг, для которых был зарегистрирован спорный товарный знак [12].

Недобросовестная конкуренция часто носит скрытый характер, что затрудняет ее выявление и юридическое доказывание.

Проблемы квалификации недобросовестной конкуренции: размытость законодательных формулировок, сложность доказывания умысла, жесткие методы ведения бизнеса, проблема доказывания причинно-следственной связи.

Стоит сказать о неопределенности законодательных критериев. Ст. 14 ФЗ «О защите конкуренции» содержит открытый перечень запрещенных действий, что приводит к широкому судебскому усмотрению (один суд может признать действие недобросовестным, а другой – нет), а также трудностям в прогнозировании исхода дел. Например, дело № А56-6829/2013 [13] о некорректном сравнении производителей

квадроциклов и мотовездеходов. ФАС по СПб постановил признать действия ЗАО БРАНДТ, который разместил на своем сайте в сети интернет сравнительную таблицу товаров с единственным критерием сравнения – цене, недобросовестной конкуренцией. То есть ФАС признала данное действие ЗАО БРАНДТ некорректным сравнением. Арбитражный суд города Санкт-Петербурга и Ленинградской области признал постановление ФАС незаконным и своим решением его отменил [14], с чем согласились апелляционный и кассационный суды.

Сложности могут вызывать и доказывание умысла. Российские суды требуют подтверждения вины нарушителя, но прямые доказательства умысла редки и часто приходится опираться на косвенные признаки. Пример из практики: дело № СИП-151/2023 [15], в котором действия ИП Мятишкина по приобретению и использованию товарного знака были признаны судом актом недобросовестной конкуренции. Суд указал, что информированность ответчика об использовании истцом спорного обозначения до даты приоритета товарного знака можно установить на основе косвенных доказательств. Для этого использовался стандарт доказывания «баланс вероятностей»: оценивалось, насколько вероятно, что ответчик не случайно выбрал такое же обозначение, а знал о его использовании иным лицом. Суд отметил значимые для дела факторы: идентичность позиций ассортимента (кофе); использование одних и тех же маркетплейсах; возможность проверить наименование товара при регистрации карточки товара на маркетплейсах; популярность товара истца на маркетплейсах на дату подачи заявки на регистрацию товарного знака; заказ изготовления продукции у одного и того же лица; отсутствие информации, которая подтверждает, что обозначение Last Wish когда-либо и кем-либо (до истца) использовалось в отношении какой-либо продукции, например продуктов питания. В данном случае решающее значение приобретает степень уникальности и различительной способности товарного знака: чем более оригинально обозначение, тем менее вероятно, что два лица могли самостоятельно начать его использование, независимо друг от друга.

Суды часто сталкиваются с вопросом: где заканчивается жесткая конкуренция и начинается недобросовестность. То есть, сложности с разграничением недобросовестной конкуренции с обычной конкурентной борьбой. ПРИМЕР: постановление АС Северо-Западного округа от 12.10.2023 № Ф07-10673/2023 по делу № А42-10107/2022 [16] ЭТП «Фабрикант», в котором суд разбирался, является ли демпинг участника закупки недобросовестной конкуренцией. Суть дела: участник закупки предложил товар по цене, сниженной на 40 % от НМЦК,

был признан победителем запроса котировок в электронной форме, но нарушил срок заключения контракта. УФАС включило компанию в РНП, основным аргументом недобросовестности назвав значительное снижение НМЦК, т. е. демпинг, ограничивающий право иных участников выиграть закупку. Согласно выводам суда: само по себе применение демпинговых цен участником рынка не может рассматриваться как признак недобросовестной конкуренции. В данном случае снижение ценовой политики имеет экономическое обоснование, поскольку компания выступает непосредственным производителем товара, а не его перепродавцом, это позволяет ей устанавливать минимальную торговую наценку на продукцию. Кроме того, суд напомнил, что при принятии решения о включении победителя в РНП не следует ограничиваться одним фактом несоблюдения срока подписания контракта, необходимо выяснять намерения участника заключить его и приступить к исполнению.

Для доказывания факта недобросовестной конкуренции необходимо установление как специальных признаков, определенных нормами ст. 14 Закона о защите конкуренции, так и общих признаков недобросовестной конкуренции, предусмотренных пунктом 9 статьи 4 Закона о защите конкуренции, статьей 10-bis Парижской конвенции по охране промышленной собственности. Для доказывания факта нарушения законодательства о защите конкуренции, по общему правилу, требуется проведение анализа состояния конкуренции на товарном рынке (п. 3 ч. 2 ст. 23 и ч. 5 ст. 45 Закона о защите конкуренции) [17].

В российской судебной системе дела о недобросовестной конкуренции представляют особую сложность из-за необходимости доказывания как объективных, так и субъективных элементов правонарушения [18].

В первую очередь недобросовестная конкуренция вызывает экономические последствия как для субъектов рынка, так и для рынка в целом. Для субъектов рынка это выражается в прямых убытках добросовестных конкурентов. По данным ФАС в 2024 г. было возбуждено 315 дел об антиконкурентных соглашениях и координации экономической деятельности. В 78 регионах РФ было привлечено 599 хозяйствующих субъектов и 144 заказчика [19]. Что касается рынка в целом, то происходит искажение конкурентной среды, снижением инвестиционной привлекательности определенных секторов и роста цен при установлении монопольного положения.

С точки зрения юридических последствий для нарушителей это административная ответственность в виде штрафов (штрафы до 500 тыс. руб. для юридических лиц) [20], гражданско-правовые последствия (выплата компенсации до 5 млн руб., либо в двукратном размере стоимости

товаров, на которых незаконно размещен товарный знак или права использования товарного знака) [21] и уголовная ответственность по ст. 178 УК РФ [7] (до 7 лет лишения свободы в особо тяжких случаях). При этом стоит учитывать, что факты недобросовестной конкуренции несут для компаний-нарушителей репутационные риски в виде падения доверия, исключения из государственных закупок и потери партнеров при расторжении договоров.

О. А. Городов считает, что недобросовестная конкуренция имеет ряд негативных последствий в виде ухудшения качества услуг, роста ценовой нагрузки, сужению ассортимента и ограничение свободы выбора для потребителей. Кроме того, при использовании недобросовестных методов конкуренции неизбежно пострадают от нежелательных последствий и компании-нарушители, таких как репутационные потери, отток клиентской базы, юридической ответственностью и санкциями со стороны властей [8].

Подводя итог можно сказать, что недобросовестная конкуренция – это форма незаконной экономической деятельности, при которой хозяйствующие субъекты стремятся получить конкурентные преимущества противоправными способами. Ее ключевыми признаками являются несоблюдение законодательных норм, пренебрежение обычаями делового оборота и принципами добросовестности, преднамеренный характер совершаемых действий, причинение ущерба конкурентам, нарушение прав потребителей, подрыв деловой репутации участников рынка. Основными формами недобросовестной конкуренции являются традиционные формы, такие как дискредитация конкурентов, введение в заблуждение, некорректное сравнение, промышленный шпионаж, демпинг.

Добросовестная конкуренция основана на законных методах и честных целях, а недобросовестная – на обмане, нарушении прав и искусственном подавлении конкурентов.

Недобросовестная конкуренция сложна в доказывании из-за: отсутствия четких критериев в законе, необходимости устанавливать умысел, трудностей в подтверждении причинно-следственной связи.

Недобросовестная конкуренция создает системные угрозы экономике, текущие санкции несопоставимы с ущербом в результате действий, которые содержат признаки нарушения определенных ст. 14.1–14.8 ФЗ-135, требуется комплексная реформа контроля и пресечения.

Библиографический список

1. Доклад о состоянии конкуренции в Российской Федерации за 2024 год / Федеральная антимонопольная служба. – Москва, 2024. –

URL : <https://fas.gov.ru/documents/689965> (дата обращения: 19.06.2025). – Текст : электронный.

2. О защите конкуренции: Федеральный закон от 26.07.2006 № 135-ФЗ (ред. от 14.10.2024) // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61763/ (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

3. Еременко, В. И. О пресечении недобросовестной конкуренции / В. И. Еременко. – Текст : непосредственный // Вопросы изобретательства. – 1992. – № 1-2. – С. 29.

4. Газзаева, М. Т. Недобросовестная конкуренция на товарных рынках / М. Т. Газзаева. – Текст : непосредственный // Право и государство: теория и практика. – 2022. – № 5 (209). – С. 76–78.

5. О коммерческой тайне: Федеральный закон от 29.07.2004 № 98-ФЗ (ред. от 08.08.2024) // Судебные и нормативные акты РФ. – URL : <https://sudact.ru/law/federalnyi-zakon-ot-29072004-n-98-fz-o/> (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

6. Соглашение ТРИПС: ст. 39 // ГАРАНТ.РУ. – URL : <https://base.garant.ru/4059989/478b4d0990e492511bea1e634e90a7b7/> (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

7. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ (ред. от 28.02.2025) // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_10699/ (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

8. Недобросовестная конкуренция : учебно-практическое пособие / О. А. Городов, А. В. Петров, Н. А. Шмигельская ; под редакцией О. А. Городова. – Москва : Юстицинформ, 2020. – С. 49–50, С. 115–127. – Текст : непосредственный.

9. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд: Федеральный закон от 05.04.2013 № 44-ФЗ (ред. от 26.12.2024) // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/ (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

10. Парижская конвенция по охране промышленной собственности: заключена в г. Париже 20.03.1883, ред. от 02.10.1979. Статья 10.bis // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5111/d3ec94178377c9da4574b43ba4e069cd38f0b80a/ (дата обращения: 12.06.2025). – Текст : электронный.

11. Арбитражный суд Воронежской области. Решение от 29 ноября 2016 г. по делу № А14-15478/2016 // Судебные и нормативные акты РФ. – URL : <https://sudact.ru/arbitral/doc/NVeOVPSbedbx/> (дата обращения: 13.06.2025). – Текст : электронный.

12. Суд по интеллектуальным правам. Постановление от 5 июля 2016 г. по делу № А40-48196/2013 // Гарант.РУ. – URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71337258/> (дата обращения: 13.06.2025). – Текст : электронный.

13. Федеральный арбитражный суд Северо-Западного округа. Постановление от 26 сентября 2013 г. по делу № Ф07-7599/2013 // Электронное правосудие. – URL : <https://kad.arbitr.ru/Card/c748d048-e7be-4240-b4a1-4bbb5ee6f88e> (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

14. Арбитражный суд города Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Решение от 27 марта 2013 г. по делу № А56-6829/2013 // Судебные и нормативные акты РФ. – URL : <https://sudact.ru/arbitral/court/reshenya-as-sankt-peterburga-i-leningradskoi-oblasti/> (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

15. Суд по интеллектуальным правам. Решение от 18 декабря 2023 г. по делу № СИП-151/2023 [Электронный ресурс] // Электронное правосудие. – URL : <https://kad.arbitr.ru/Card/a1ab3f40-5a40-4581-abe5-4017ae70b2f9> (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

16. Арбитражный суд Северо-Западного округа. Постановление от 12 октября 2023 г. по делу № Ф07-10673/2023 // Электронное правосудие. – URL : <https://kad.arbitr.ru/Card/8c98e63e-53a4-4443-a5f1-0ad51834766a> (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

17. О некоторых вопросах, возникающих в связи с применением судами антимонопольного законодательства: постановление Пленума Верховного Суда РФ от 04.03.2021 № 2 // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_378656/ (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

18. Об утверждении методических рекомендаций: приказ ФАС России от 08.08.2019 № 1073/19 // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335124/ (дата обращения: 14.06.2025). – Текст : электронный.

19. Официальный сайт Федеральной антимонопольной службы (ФАС России). Материалы ФАС за 2024 г. – URL : <https://fas.gov.ru/> (дата обращения: 17.06.2025). – Текст : электронный.

20. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 03.02.2025, с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025) // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/ (дата обращения: 11.06.2025). – Текст : электронный.

21. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 22.07.2024) // КонсультантПлюс. – URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64629/ (дата обращения: 16.06.2025). – Текст : электронный.

А. Д. Ерохин

*Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
г. Иркутск, Россия*

МИНИМИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ОТ УДАЛЁННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Законодательство России в сфере экологии обязывает компании сократить их влияние на окружающую природу. В городских условиях, где предприятия имеют устойчивую инфраструктуру, нормы экологической безопасности успешно выполняются. Однако, при работе на временных и удалённых производственных объектах, выполнение тех же экологических требований может стать причиной ухудшения конкурентных позиций компаний.

Ключевые слова: экология, бурение, удалённый объект, буровой шлам, очистка, разведка, отходы, сточные воды, обезвреживание.

Изучение и внедрение инновационной интегрированной стратегии для выполнения временных задач на отдалённых площадках, обеспечивает рыночную конкурентную устойчивость и сокращение потерь.

Создание интегрированной системы очистки шлама и сточных вод, адаптированной для краткосрочных операций на отдалённых площадках, обеспечивает сохранение конкурентных преимуществ и сокращение финансовых потерь.

Ожидается, что внедрение мобильной системы поспособствует ориентированию предприятий к экологически устойчивому производству на отдалённых площадках с частой сменой мест работ.

Объект исследования – буровой шлам и образующиеся промышленные сточные воды.

Предмет исследования – экологическое ориентирование и сохранение конкурентных преимуществ на рынке услуг при стремлении к минимизации сокращения прибыли.

Разработка и анализ новых интегрированных подходов к сокращению экологических рисков при краткосрочной эксплуатации удалённых объектов, может способствовать созданию более продуктивных и экологически чистых технологий в будущем.

Применение интегрированной экологической стратегии в рамках краткосрочных проектов на отдаленных объектах способствует повышению экологической безопасности данных территорий.

Буровой шлам представляет собой значительный промышленный отход, возникающий в ходе бурения нефтяных и газовых скважин, а также при выполнении геологических и исследовательских операций.

В состав отходов бурения входят:

1. Дроблёные горные породы
2. Остатки *бурового* раствора
3. Сточные *буровые* воды
4. Нефтепродукты и полимеры
5. Сурфактанты и синтетические детергенты
6. Тяжёлые металлы
7. Кислоты и щелочи
8. Хлориды
9. Неорганические вещества

Фазы бурового раствора:

1. Жидкий
2. Твёрдый
3. Пастообразный

Опасность отходов связана с присутствием токсинов, в частности минеральных солей, тяжелых металлов, нефтепродуктов, способных серьезно навредить экологии.

Технологии обращения с буровым шламом классифицируются в несколько ключевых категорий:

1. Физические методы:

а) Погребение в специально отведённых кладбищах.

б) Инжектирование в трещины формации после процесса гидравлического разрыва.

с) Рекультивация территории.

2. Химическая и физико-химическая технологии:

а) Обработка с использованием специализированных реагентов (окись алюминия, жидкое стекло).

б) Капсулирование реагентов с применением негашёной извести.

с) Гидрофобное покрытие применяется для блокирования водопоглощения почвой.

3. Термические методы:

- a) Сжигание в специальных печах.
- b) Уменьшение токсичности при воздействии высокой температуры.
- c) Нейтрализация опасных микроорганизмов.

4. Биологические методы:

- a) Биотермическое разложение.
- b) Микробиологическое разложение.

Требования к хранению:

- 1. Однозначное размещение на специализированных площадках.
- 2. Для хранения жидкого шлама используются специализированные шламовые хранилища.

3. Временное размещение в специализированных отстойниках для осадка.

Подход к процессу утилизации диктуется категорией опасности отходов, зависящей от химического состава шлама. Все операции по обращению с отходами должны соответствовать критериям, установленным Федеральным классификационным каталогом отходов, а также соблюдать государственные экологические стандарты.

В ходе операций по разработке нефтегазовых месторождений и эксплуатации горных пород, происходит формирование значительных объемов буровых отходов. Основу этих отходов составляет буровой шлам, который является смесью горной породы, жидкости и добавок, вымываемых из бурильной скважины на поверхность. Ключевая задача в области управления этими отходами заключается в разработке и применении наиболее действенных методов либо для рециклирования, либо для безопасной ликвидации бурового шлама.

Утилизация отходов охватывает процессы переработки и трансформации материалов, для сокращения их негативного влияния на экологию и преобразования в ценные ресурсы или энергию.

В большинстве научных работ, посвященных утилизации буровых шламов в России и мировом масштабе, фокус делается на извлечение и переработку нефти и нефтепродуктов. Экологическая безопасность в управлении буровыми отходами остается проблемой глобального масштаба, особенно остро она ощущается в Российской Федерации, преимущественно в промышленных районах. Эта проблема обусловлена значительным объемом отходов и их вредным воздействием на окружающую среду. Такое воздействие провоцирует серьезные изменения в состоянии геоэкосистем, снижение защитных функций грунтовых вод, активизацию геохимических и геомеханических процессов, а также нарушение натурального микробиоценоза.

Стремительное увеличение объёмов буровых отходов, без адекватной переработки, приводит к захвату и деградации земельных участков. Тем не менее, эти отходы могут служить альтернативным сырьём благодаря своему химическому составу и полезным характеристикам, что позволяет их применять в различных отраслях экономики, экономя природные ресурсы.

Основные технологии сепарации отходов-шамов для их последующей переработки включают применение центрифуг, экстракционные методы, использование гравитационных утяжелителей, вакуумную фильтрацию, фильтр-прессование, а также кристаллизацию путем заморозки.

Среди представленных технологий наибольший потенциал демонстрирует метод центрифугирования с применением флокулянтов. Этот процесс позволяет достигать извлечения до 85 % нефтепродуктов и до 95 % механических загрязнений. Обработка осадков реагентами трансформирует их характеристики, улучшая отделение воды и способствуя более эффективной очистке от нефтепродуктов.

Утилизационный процесс бурового шлама на морском шельфе осуществляется благодаря инновационным методам. В ходе научных исследований было разработано технологическое решение, заключающееся в солидификации буровых отходов для их последующего безопасного захоронения под слоем мелкозернистого минерального осадка или использовании как основы дорожного покрытия. Преобразованная в твердую глиноподобную субстанцию масса приобретает свойства, пригодные для изготовления строительных материалов, включая бетон, или даже в качестве агрономического удобрения. Также отвержденный и обеззараженный шлам успешно используется в производстве разнообразных строительных элементов, таких как кирпичи, керамзит, и другие компактные строительные изделия.

Процесс удаления амбара и последующая обработка бурового шлама включает несколько ключевых этапов:

1. Удаление нефтяного загрязнения с верха склада.
2. Депургация акватического слоя от эмульсированных углеводородных фракций.
3. Повышение качества обработки воды через дополнительную фильтрацию, учитывая требования к очищенной воде для различных применений.
4. Дегидратация и обезвреживание отходов бурения.
5. Обработка отходов бурения; ремедиация грунтов, загрязнённых нефтью.

Процесс устранения шламового хранилища делится на две фазы: первоначально происходит очистка и обезвреживание содержимого хранилища, после чего следует процедура утилизации буровых отходов.

Применение технологий переработки отходов добычи нефти направлено на минимизацию экологического ущерба. Это не только улучшает состояние окружающей среды, но и выгодно для нефтедобывающих компаний, сокращая издержки на утилизацию отходов и предоставляя возможность получать доход от продажи вторичных продуктов.

Имеется методика рекультивации амбаров, основанная на экологической переработке бурового шлама. Сначала с помощью экскаватора шлам перемещают на ровную площадку, где его сушат под воздействием солнечных лучей. Для трансформации растворимых соединений в осадочные формы и для увеличения вязкости вводят гипс. После этого в сухую и обработанную гипсом массу добавляют амелиоранты, такие как навоз или торф, обогащённые минеральными удобрениями, и повторно проводят сушку до достижения влажности 8–14 %, что способствует уменьшению исходного объема в 6–8 раз. Затем бульдозером смесь перемещают на грунты с плотной структурой и толщиной выше 15–20 метров, где шлам повторно укладывают, уплотняют и засыпают минеральным слоем 1,5–2,5 м и верхним плодородным слоем 20–40 см. При менее устойчивом составе почв обработанный шлам направляют на специализированные свалки для безопасного захоронения. Основным недостатком метода заключается в неизбежности строительства амбаров и в отсутствии механизмов для очищения бурового раствора и отходящих вод.

Существуют технологии, позволяющие возводить стационарные установки для обработки шлама. Однако, такие системы не предназначены для частой релокации, что делает их менее привлекательными на рынке при необходимости оперативного перехода между буровыми участками.

Таким образом, преобладающие технологии утилизации буровых отходов включают возведение специализированных складов или объектов для обработки бурового шлама. В данной работе рассматривается альтернативный подход с использованием мобильной установки, размещённой в стандартном двадцатифутовом контейнере с установленными на нём дополнительными люками для доступа к оборудованию. Это позволяет осуществлять переработку отходов, получаемых напрямую с буровой площадки.

Предложенная процедура интегрированной обработки и нейтрализации бурового раствора, буровых стоков и осадка, создающегося во время бурения скважин, не требует возведения специального хранилища. Она

начинается с приема бурового осадка от буровой установки, его подготовки к дальнейшей переработке, подготовки химических растворов для дегидратации и нейтрализации, их смешивания и добавления в общий резервуар. Затем следует процесс дегидратации осадка с использованием барабанного фильтра, очистка полученного фильтрата и повторное применение обработанного бурового осадка и воды. Детали расположения и подключения оборудования демонстрируются на схеме (см. Рисунок).

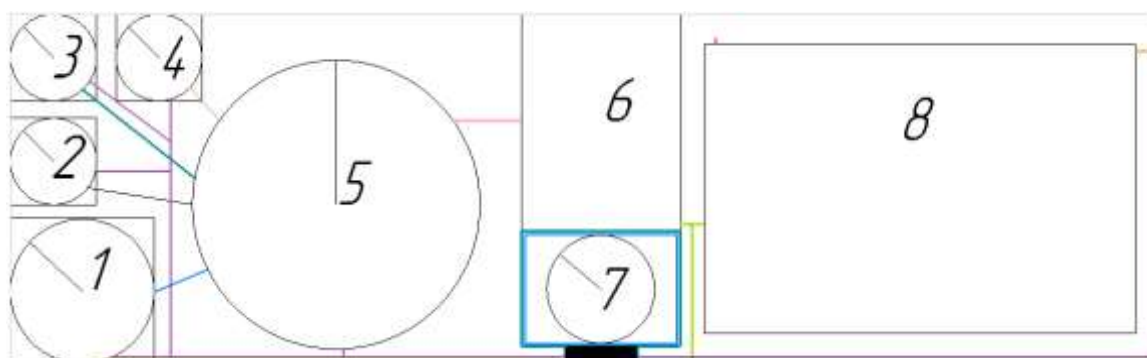


Рисунок. Технологическая конфигурация оборудования: 1 – приёмная ёмкость со смешивающим устройством, с установленными над ней виброситами; 2 – бункер с ёмкостью со смешивающим устройством для приготовления коагулянта; 3 – бункер с ёмкостью со смешивающим устройством для приготовления флокулянта; 4 – бункер с ёмкостью со смешивающим устройством для приготовления извести; 5 – ёмкость для смешивания шлама с реагентами; 6 – барабанный фильтр; 7 – шнековый смеситель, с установленной над ним и после него, соответственно ёмкостью со смешивающим устройством сухих нейтрализующих и капсулирующих реагентов и роликовый конвейер; 8 – оборудование для флотации;

— трубопровод подачи шлама в смешивающую ёмкость;
 — трубопровод подачи коагулянта в смешивающую ёмкость;
 — трубопровод подачи флокулянта в смешивающую ёмкость;
 — трубопровод подачи извести в смешивающую ёмкость;
 — трубопровод подачи подготовленного шлама на барабанный фильтр;
 — трубопровод подачи фильтрата на флотацию и в ёмкость № 1;
 — трубопровод подачи очищенной сточной воды на производство;
 — трубопровод подачи сточной воды на приготовление растворов, разбавление шлама в ёмкости № 1 и подготовленного шлама в ёмкости № 5;
 — выведение остаточного нефтепродукта.

Описание установки для обезвоживания и обезвреживания бурового шлама:

1. Процесс обращения с буровым шламом включает его транспортировку от буровой платформы к объекту обработки с использованием насосной системы и трубопроводов. В процессе бурения скважин, буро-

вой шлам поступает в специализированную приемную ёмкость (ёмкость 1). Эффективное отделение твердых частиц от жидкости обеспечивается за счет применения вибрационного сита, установленного над ёмкостью, с размером ячеек 5–10 мм. Далее, для дополнительного обезвоживания в поток вносится буровая сточная вода или фильтрат, получаемый с помощью барабанного фильтра. В нижней части системы обработки шлам подвергается интенсивному перемешиванию с целью достижения необходимой консистенции, что осуществляется с помощью перемешивателя. После этого обработанная смесь перекачивается в ёмкость 5, где происходит обезвреживание отходов.

2. Для создания растворов коагулянта и флокулянта применяют реакторы объемом 1800 л, оснащённые дозаторами для сухих химикатов, механизмами для перемешивания и насосными агрегатами, которые осуществляют подачу готовых реагентных смесей в процессе их эксплуатации.

3. Финальная стадия обработки бурового шлама перед его нейтрализацией включает дополнительную обработку в ёмкости № 5. В этой стадии смешивают ранее подготовленный в первом резервуаре шлам с химическими веществами. Процесс включает последовательное добавление и активное мешание коагулянтов, флокулянтов и специально приготовленного раствора извести для достижения оптимальной консистенции и состава.

4. Обработка осушенного бурового шлама:

а) Готовая буровая смесь посредством насоса транспортируется к вращающемуся барабанному фильтру, где осуществляется эффективное отделение жидкостной компоненты от твердых частиц.

б) Выделенный фильтрат направляется на флотационную обработку или для первичной обработки бурового шлама в резервуар № 1.

с) Твёрдая фаза высвобождается и перемещается в шнековый транспортёр, одновременно из расположенной выше ёмкости с мешалкой в шнековый смеситель поступает сухая нейтрализующая и капсулирующая смесь из дозатора.

д) Винтовой миксер эффективно комбинирует освободившийся из скважины буровой раствор с порошкообразным химическим веществом. Этот процесс сопровождается теплогенерацией в результате химической реакции, способствуя дальнейшей дегидратации осадка.

е) В результате смешивания компонентов получается вещество 5 класса опасности. Данное соединение транспортируется по конвейеру во внешний приёмный бункер установки.

5. Технология очистки жидкой фазы. Процессы очистки бурового раствора и сточных вод от бурения включают использование аппаратов напорной флотации, установленных после барабанных фильтров. В ходе обработки буровых растворов и сточных вод применяются специализированные химические добавки.

После обработки буровой сточной жидкости происходит получение очищенной воды, с концентрацией углеводородов не выше установленных нормативных значений ($\leq 0,3$ мг/л). Отсепарированные нефтепродукты аккумулируются и отправляются на последующую утилизацию. Отфильтрованная вода используется для изготовления технических растворов, разжижения бурового шлама или иных процессов, связанных с деятельностью буровой платформы.

Библиографический список

1. Вахнюк, И. А. Экологическая оценка гальванического производства, расположенного в городской среде : дисс. ... канд. тех. наук : 1.5.15 : защищена 26.01.2022 / Вахнюк Игорь Анатольевич . – Владивосток, 2022. – 104 с. – Текст : непосредственный.

2. Майсс, А. А. Совершенствование системы управления отходами рыбной промышленности (на примере промысла минтая в охотском море) : дисс. ... канд. техн. наук : 1.5.15 : защищена 06.02.25 / Майсс Артур Айварович. – Владивосток, 2025. – 208 с. – Текст : непосредственный.

3. Лисина, Н. Л. Проблемы правовой охраны окружающей среды в городах : дисс. ... д-ра юр. наук : 12.00.06 : защищена 27.04.2022 / Лисина Наталья Леонидовна. – Москва, 2022. – 645 с. – Текст : непосредственный.

4. Булгакова, Л. С. Административно-правовая охрана окружающей среды : дисс. ... канд. юр. наук : 5.1.2 : защищена 13.04.24 / Булгакова Луиза Сираджединовна. – Санкт-Петербург, 2024. – 268 с. – Текст : непосредственный.

5. Технология очистки и рециклинга бурового раствора / А. А. Третьяк [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 2. – С. 62–70.

А. Б. Ждан, С. А. Данилюк

*Приморский институт железнодорожного транспорта,
г. Уссурийск, Россия*

ГОЛОЛЁДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ: ПОСЛЕДСТВИЯ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ

В статье рассмотрены вопросы, связанные с особенностями эксплуатации подвижного состава и элементов железнодорожной инфраструктуры в условиях воздействия гололёдных явлений. Представлены факторы и высокий риск их образования в климатических условиях Приморского края. Представлены последствия гололёдных явлений, приведён анализ современных способов защиты с целью поиска наиболее эффективных решений.

Ключевые слова: гололёд, климатические факторы, риски, ущерб, подвагонное оборудование, контактная сеть, токосъём, безопасность на железной дороге, способы защиты, цифровизация, искусственный интеллект.

Эксплуатация железнодорожного транспорта в условиях низких температур окружающего воздуха и особенно в периоды их резкого изменения (что наблюдается преимущественно в осенне-зимний период года), порождает ряд серьёзных проблем, связанных с образованием гололёдных явлений.

Негативное воздействие гололёдных явлений выражается в виде интенсивного налипания снегодождевой массы с последующим образованием льда непосредственно на рельсах, на элементах конструкции (рис. 1) подвижного состава (на ходовом подвагонном оборудовании, трубопроводах и резино-металлических тормозных магистралях) и элементах конструкции контактной электросети (рис. 2), что значительно затрудняет или же делает невозможным дальнейшее движение поездов.

Физическая сущность возникновения гололёдных явлений связана с охлаждающим воздействием набегающего воздушного потока на налипший снег и капли воды в процессе движения подвижного состава или за счёт воздействия ветра в условиях высокой влажности окружающего воздуха при температурном диапазоне от 0 °С до +5 °С. При этом процесс нарастания льда имеет прямую зависимость от скорости движения подвижного состава.



Рис. 1. Образование гололёдных явлений на элементах кузова и подвагонном оборудовании подвижного состава



Рис. 2. Гололёдные явления на контактной электросети

На интенсивность возникновения гололёдных явлений, помимо погодно-климатических факторов, оказывают влияние состояние железнодорожной инфраструктуры, интенсивность движения поездов и географическое расположение станций.

Ключевым фактором формирования гололедных явлений выступает сложное взаимодействие воздушных масс различной температуры, когда тёплый и насыщенный влагой воздух проникает в нижние слои атмосферы. Наибольшая активность гололедных явлений наблюдается при перемещении циклонов на территорию Дальнего Востока (в 90 % случаев) и особенно в переходные периоды года [1].

Особенности муссонного климата Приморского края оказывают непосредственное влияние на формирование гололедных явлений в данном регионе. В период с октября по апрель здесь создаются все необходимые условия для их образования. Согласно статистическим данным в подавляющем большинстве случаев (от 80 до 98 %) формирование гололедных явлений характеризуется слабым или умеренным обледенением. При этом наиболее интенсивные обледенения регистрируются на метеостанциях, расположенных вблизи морского побережья. Такое специфическое сочетание климатических факторов создает в Приморском крае особую среду, способствующую регулярному образованию гололедных явлений [1].

Дополнительно следует отметить, что в последние годы в связи с изменяющимися климатическими условиями, на территории края стали наблюдаться так называемые «ледяные дожди», формирующие на открытых поверхностях прозрачный и твёрдый слой льда толщиной от нескольких единиц до нескольких десятков миллиметров. С учётом этой специфики данное явление, представляет собой серьёзную угрозу для функционирования транспортной системы и других элементов региональной инфраструктуры.

Повреждение инфраструктуры, перебои в электроснабжении, вынужденные остановки составов, задержки рейсов и технические неисправности подвижного состава приводят к значительным финансовым потерям, которые включают в себя как прямые затраты на ремонт и восстановление, так и косвенные убытки от простоя транспортной системы.

Так, ледяной дождь, прошедший 19 ноября 2020 г. и образовавший на проводах наледь толщиной 12 мм, вызвал массовые аварии на электросетях в Приморском крае (рис. 3), привел к сбою в движении семи пассажирских, 57 грузовых и 30 пригородных поездов, а также к отмене 28 пригородных поездов. При этом общий ущерб предприятиям энергетики и коммунального хозяйства края составил 619 миллионов рублей [2].



Рис. 3. Последствия «ледяного дождя» (г. Владивосток, Приморский край)

Процесс, связанный с увеличением толщины нарастающего льда на элементах конструкции подвижного состава, способствует возникновению угроз его откалывания и падения непосредственно на железнодорожное полотно, что приводит к непосредственной опасности для членов путевых бригад, а также к возникновению различного рода повреждений у подвагонного оборудования и наземной инфраструктуры. К наиболее серьезным последствиям образования льда следует отнести разрывы резино-металлических магистралей, заклинивание клещевых тормозных механизмов, элементов рессорного подвешивания, элементов систем автоматики и телемеханики и другого напольного оборудования.

Процесс накопления льда на элементах контактной сети также приводит к ряду критических последствий. Из которых главную опасность представляет существенное увеличение веса проводов, что совместно с ветровой нагрузкой, значительно повышает вероятность их обрыва.

К примеру, образование гололёда на проводе марки АС-185/43 диаметром 19,6 мм с толщиной льда в 20 мм, масса провода увеличивается в 3,7 раза, а с толщиной в 60 мм – в 17 раз [3].

Одновременно с увеличением веса, наблюдается существенное ухудшение качества токосъёма, что провоцирует целый комплекс серьёзных последствий, связанных с возникновением дуговых разрядов и даже полным отрывом поверхности токосъёма пантографа от контактного провода. В качестве эксплуатационных рисков также можно назвать: нарушение целостности контактной сети и сбои в работе всей энергосистемы, выход из строя токоприёмных устройств, а также полную остановку железнодорожного движения.

Проблемы, вызываемые гололёдными явлениями, заставляют инженеров вести активный поиск, разрабатывать и применять различные способы и методы борьбы, цель которых – максимально уменьшить или полностью исключить образование гололёдных явлений на конструкциях подвижного состава и элементах железнодорожной инфраструктуры.

Для борьбы с обледенением железнодорожной плети используются специализированные поезда, в качестве наиболее перспективными из них следует выделить снегоуборочный поезд серии ПСС-1К, который заменяет и дополняет снегоуборочные машины СМ-2 и СМ-7Н. Помимо устранения льда, эти поезда также очищают путь от снега [4].

До недавнего времени, для решения проблем, связанных с обледенением подвагонного оборудования проводилась ручная механическая очистка оборудования членами специализированных бригад в пункте формирования и проводниками с осмотрщиками – в пути следования. Учитывая, что данный способ имеет множество негативных моментов, а это и многочисленные жалобы пассажиров и увеличение на 17 % механических повреждений подвагонного оборудования [5, 6], его стараются использовать как можно реже.

Способ очистки, связанный с обработкой подвагонного оборудования горячим воздухом или водой также не нашёл широкого применения по причине своей энергозатратности.

Более современными способами решения данной проблемы является применение химических методов, связанных с использованием специальных антигололёдных реагентов на основе пропиленгликоля, которые наносятся на подвагонное оборудование.

Среди современных технологий борьбы с обледенением, следует выделить инновационный технологический комплекс «АНТИЛ», позволяющий не только устранить уже имеющуюся наледь, но и значительно снизить вероятность её повторного применения [6].

В основе работы данного комплекса лежит гидродинамическая обработка подвагонного оборудования водным раствором пропиленгликоля, имеющего температуру 85 °С. Нанесение водно-пропиленового раствора здесь, осуществляется снизу-вверх путём распыла форсунками высокого давления.

В процессе данной обработки происходит формирование защитного слоя, препятствующего налипанию льда к поверхностям подвагонного оборудования. Ещё одним достоинством данной обработки является продолжительность её действия – защитный эффект сохраняется до 72 часов даже при экстремально низких температурах, достигающих –30 °С. При этом, помимо антиобледенительных свойств, данная обработка дополнительно способствует защите подвагонного оборудования от коррозионных процессов.

Практическое применение данной технологии позволяет значительно повысить эффективность и надёжность железнодорожного сообщения в условиях неблагоприятных погодных факторов, обеспечивая бесперебойную работу транспортной системы.

С другой стороны, достаточная сложность комплекса «АНТИЛ» пока не позволяет говорить о его широком внедрении и распространении.

Что касается решения проблем, связанных с обледенением элементов конструкции контактной сети, то здесь помимо механических и химических способов, находят применение и электрические способы.

К наиболее эффективным механическим методам следует отнести использование вибропантографов и специальных очистительных поездов.

Применение вибропантографа, предполагает замену токосъёмного полоза на вибрационный пневмобарабан (установка МОГ-1) в переднем по ходу движения пантографе электровоза. Данный метод является наиболее эффективным в начальный период гололедообразования и находит применение при толщине слоя льда не более трёх миллиметров [7].

Учитывая, что питание электровоза, оборудованного вибропантографом, осуществляется от второго по ходу движения пантографа, то при необходимости перемещения локомотива в обратном направлении, возникает необходимость переустановки вибропантографа. При этом, также сохраняется и риск пережога контактного провода.

В данном случае, решением проблемы является использование тепловоза ТЭМ18ДМ, оборудованного в соответствии с проектным реше-

нием Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства (ПКБ ЦТ) вибропантографом. Данное решение позволяет ускорить очистку контактной сети ото льда и значительно сократить время простоя поездов [8].

Химические способы борьбы с обледенением контактной сети предусматривают использование химических средств, которые либо предотвращают образования льда, либо способствуют его удалению. К таким средствам относят антифризы и противогололёдные реагенты.

Использование антифризов приводит к формированию на поверхности провода защитного слоя, препятствующего образованию льда. Эффективность такого способа, в виду его ограниченного действия, обеспечивается только при условии регулярного применения.

Что касается противогололёдных реагентов, то их использование является оправданным только в периоды с экстремально низкими температурами.

К основным недостаткам химических способов, следует отнести их негативное влияние на окружающую среду, что требует учёта экологических факторов их применения и особенно вблизи водных объектов, высокая стоимость химических реагентов и относительно высокие трудозатраты на проведение обработки [9].

В качестве одной из перспективных антиобледенительных жидкостей, успешно прошедшей испытания в течение зимнего сезона 2022–23 гг., может быть рекомендован продукт «DEFROSTER RW». Нанесение данного продукта на провод контактной сети наиболее выгодно проводить при использовании специализированной установки «Колибри». Преимуществом которой, является возможность проведения обработки без снятия напряжения с контактной сети (т. е. не ограничивая движение поездов) [8].

Электрические способы борьбы с обледенением контактной сети предусматривают нагрев её контактного провода за счёт искусственного пропуска через него тока от тяговой подстанции или от мобильной электроустановки [9].

В первом случае, плавка гололёда осуществляется за счёт искусственного повышения силы тока в контактном проводе. Наибольшая эффективность данного метода будет обеспечиваться в случае отключения потребителей от сети и создания в ней режима короткого замыкания.

Во-втором случае, плавка гололёда осуществляется на участках с небольшой протяжённостью контактного провода, путём его посекционного нагрева с помощью мобильной электроустановки, которая двигается вдоль контактной сети и подключается к ней через управляемый пантограф.

Проанализировав применяемые способы борьбы с гололёдными явлениями, следует отметить, что применение электрического способа является наиболее эффективным по сравнению с механическими и химическими способами, так как он позволяет за короткое время нагревать контактную сеть и устранять наледь. Его также отличает универсальность применения на различных типах контактных сетей. Тем не менее, при указанных достоинствах, данный способ связан с большими энергозатратами, необходимостью временного отключения потребителей и имеет риск перегрева и деформации проводов, что требует более тщательного контроля данного процесса.

Есть и инновационные подходы к решению данной проблемы, основанные на раннем обнаружении процессов образования гололеда на проводах контактной сети, наиболее эффективным из которых является термодинамический способ, основанный на измерении температуры и веса проводов, скорости и направления ветра на участке гололедообразования [10].

Применение данного способа позволяет продлевать ресурс силового и коммутационного оборудования тяговых подстанций на фоне экономии электроэнергии за счёт использования профилактического нагрева проводов контактной сети.

Опираясь на вышесказанное, следует отметить, что в настоящее время пока ещё не существует какого-то одного универсального способа борьбы с гололёдными явлениями. При этом, как правило, максимально значительного эффекта добиваются путём комплексного, совместного применения тех или иных способов защиты.

Что же касается окончательного выбора способов защиты для какого-то конкретного объекта железнодорожной инфраструктуры, то данный выбор осуществляется непосредственно на местах с учётом уже известных критериев, таких как: стоимость реализации, наличие денежных средств, эффективность защиты, сложность монтажа и эксплуатации, а также надёжность и долговечность оборудования.

Подводя некоторые итоги, следует отметить, что для успешной борьбы с гололёдными явлениями необходимо максимально устранять причины способствующие образованию гололёда на элементах железнодорожной инфраструктуры, а также обеспечивать оперативное получение информации о процессах связанных с его образованием. С этой целью необходимо регулярно мониторить погодные условия и состояние инфраструктуры, а также своевременно проводить профилактические мероприятия.

В эпоху цифровизации становятся актуальными разработки универсальных автоматизированных систем анализа на базе искусственного интеллекта, что открывает новые возможности для разработки новых способов борьбы с гололёдными явлениями. Примером тому служит бортовая система технического зрения «БСТЗ», которая распознает и своевременно реагирует на препятствия, расположенные на пути следования подвижного состава, повышая тем самым уровень безопасности движения [11].

В заключение следует отметить, что по мере развития в России высокоскоростного транспорта, актуальность борьбы с гололёдными явлениями будет только нарастать.

Библиографический список

1. ПРИМГИДРОМЕТ: всё о гололёдных явлениях. – URL : http://old.primgidromet.ru/news/vse_o_gololednyh_yavleniyah/ (дата обращения: 14.10.2025). – Текст : электронный.

2. Непогода во Владивостоке привела к сбою в движении семи пассажирских и 57 грузовых поездов. Главное ТАСС. – URL : <https://tass.ru/obschestvo/10064963> (дата обращения: 14.10.2025). – Текст : электронный.

3. Колмаков, В. О. Анализ причин ледообразования и влияния на контактную сеть / В. О. Колмаков, М. В. Тимошенко, К. А. Гущин. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-prichin-ledoobrazovaniya-i-vliyaniya-na-kontaktnuyu-set> (дата обращения: 15.10.2025). – Текст : электронный.

4. Снегоуборочная машина ПСС-1К. – URL : <https://railtrain.pro/pss-1k>. – Текст : электронный.

5. Попов, А. Э. Технология удаления наледи с ходовых частей и подвагонного оборудования пассажирских вагонов / А. Э. Попов, Е. В. Нор. – Текст : непосредственный // Молодёжная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Международной научно-исследовательской конференции, 28–30 апреля 2021 г. – Самара – Оренбург : СамГУПС, ОрИПС, 2021. – С. 54–56.

6. Наумов, Д. В. Проблема обледенения ходовых частей подвижного состава и способы борьбы с ней / Д. В. Наумов, Е. В. Нор, С. В. Паталахин. – Текст : непосредственный // Молодёжная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: материалы Международной научно-исследовательской конференции, 28–30 апреля 2021 г. – Самара – Оренбург : СамГУПС, ОрИПС, 2021. – С. 57–59.

7. Механическая очистка проводов от гололёда. – URL : <https://probitteh.prprel.ru/mekhanicheskaya-ochistka-provodov-ot-gololeda> (дата обращения: 17.10.2025). – Текст : электронный.

8. Свобода ото льда // Куйбышевский железнодорожник. – 2023. – № 41, октябрь. – URL : https://gudok.ru/zdr/177/?page_print_=Y&ID=1649281 (дата обращения: 17.10.2025). – Текст : электронный.

9. Викулов, И. П. Развитие технологии борьбы с гололёдом на контактной сети железных дорог / И. П. Викулов, Июань Ли. – Текст : непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – Том 1. – 2025. – URL : <https://izvestiapgups.editorum.ru/ru/nauka/article/96668/view> (дата обращения: 17.10.2025). – Текст : электронный.

10. Трубицин, М. А. Проблема гололёда на проводах воздушных линий системы электроснабжения железнодорожного транспорта / М. А. Трубицин, О. Г. Лукашевич. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-gololyoda-na-provodaх-vozdushnyh-liniy-sistemy-elektrosnabzheniya-zheleznodorozhnogo-transporta> (дата обращения: 17.10.2025). – Текст : электронный.

11. Ринат Накипов. «Зрение» для поезда: как развивается бортовая система технического зрения для подвижного состава / Накипов Ринат. – URL : <https://rzddigital.ru/projects/zrenie-dlya-poezda/> (дата обращения: 20.10.2025). – Текст : электронный.

Д. М. Иванов

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАНЖИРОВАНИЯ РЕГИОНОВ ПО УРОВНЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ШТРАФОВ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ УЩЕРБУ

Экологические проблемы, связанные с выбросами загрязняющих веществ, деградацией земель и углеродным следом логистических и транспортных систем (ТЛС), оказывают существенное влияние на региональные экосистемы, здоровье населения и качество жизни местного населения. Столкнувшись с этими вызовами, в данном исследовании предлагается методология регионального ранжирования, основанная на разработке Интегрированного индекса состояния окружающей среды (IES), позволяющей оценивать и сравнивать уровень экологического ущерба

по экологическим, социально-экономическим и нормативным критериям. Подход основан на структурировании описательной онтологии факторов, применении адаптивных алгоритмов взвешивания и стандартизации показателей для обеспечения межрегиональной сопоставимости. Модель вводит важное новшество: интеграцию мер по экологическому регулированию и компенсации в качестве коэффициентов смягчения последствий при расчёте экологических штрафов. Полученные результаты демонстрируют способность модели определять региональные профили в соответствии с их экологической уязвимостью и адаптационным потенциалом, тем самым предлагая надёжный инструмент принятия решений для разработки дифференцированной и стимулирующей политики в области управления окружающей средой. Эта методология способствует проактивному подходу к экологическому управлению, ориентированному на устойчивость и территориальную справедливость.

Ключевые слова: транспортно-логистические системы, воздействие на окружающую среду, экологический ущерб, социально-экономическое развитие, устойчивое развитие, экологическая онтология, многокритериальный анализ, интегральные индексы, экологическое.

Актуальность

Вопрос количественной оценки и дифференцированного управления экологическим ущербом, наносимым логистическими и транспортными системами (ТЛС), имеет решающее значение в современных условиях деградации окружающей среды. Традиционные механизмы оценки нагрузки на окружающую среду, часто ограниченные чисто статистическими или секторальными подходами, не отражают сложности взаимодействия между деятельностью человека и региональными экосистемами. Республика Хакасия, как и многие другие логистически емкие регионы, нуждается в системном подходе, учитывающем территориальную специфику и эффекты социально-экономической обратной связи. Актуальность данного исследования заключается в острой необходимости разработки аналитических инструментов, способных обеспечить прочную научную основу для приоритезации регионов по уровню экологического ущерба и разработки соответствующей компенсационной политики.

Целесообразность исследования. Разработка эффективной экологической политики требует строгой методологии классификации регионов в соответствии с их экологическим и социально-экономическим профилем. Предлагаемый подход основан на структурировании описательной онтологии, формализующей сложные взаимодействия между ТЛС и региональными экосистемами. Такое структурирование позволяет инте-

группировать не только непосредственные факторы окружающей среды, но и социально-экономические последствия, а также регулирующие и компенсационные возможности территорий. Научное обоснование данного исследования основано на отсутствии интегрированных инструментов, которые могли бы динамически увязать индексы загрязнения с экономическими санкциями и механизмами стимулирования с учетом проактивных усилий регионов в области устойчивого развития.

Научная новизна. Оригинальность данного исследования заключается в разработке интегрированного индекса состояния окружающей среды (IES) в сочетании с адаптивной онтологической моделью, позволяющей контекстуально взвешивать факторы в соответствии с территориальными особенностями. В отличие от существующих методологий, этот подход включает в себя нормативные и компенсационные факторы (R_i) в качестве смягчающих факторов в формуле IES, тем самым вознаграждая регионы, которые проводят активную экологическую политику. Внедрение адаптивной логики коэффициентов взвешивания в соответствии с экологической уязвимостью и экономической зависимостью от логистического сектора является значительным методологическим достижением, предлагающим оперативный, гибкий и динамичный инструмент приоритезации.

Цель и задачи исследования. Основной целью данного исследования является разработка математической модели оценки и ранжирования регионов по уровню экологического ущерба, с целью установления дифференцированной системы экологических санкций. Задачи исследования заключаются в следующем: структурировать описательную онтологию экологических, социально-экономических и регуляторных факторов, связанных с ТЛС; разработать комплексный индекс состояния окружающей среды (UES) на основе взвешенного агрегирования субпоказателей; предложить адаптивный алгоритм взвешивания, учитывающий региональную специфику; осуществить реализацию механизма иерархического ранжирования регионов по их экологическому профилю; разработать методику расчета штрафов и компенсаций по результатам IES.

Теоретическая значимость. Исследование обогащает теоретические основы регионального экологического моделирования за счет внедрения многоуровневого онтологического подхода, связывающего экологические, социально-экономические и регуляторные факторы в единую интегративную структуру. Предложена системная модель артикуляции разнородных данных (качественных и количественных) в целостную аналитическую матрицу, которая открывает новые перспективы в развитии адаптивных методологий экологической оценки. Этот

теоретический вклад может быть обобщен и на другие области территориального природопользования.

Практическая значимость. Разработанная модель является оперативным инструментом для региональных и федеральных органов власти по приоритизации мероприятий в области экологической политики, справедливому и пропорциональному расчету экологических штрафов, а также выявлению регионов, нуждающихся в конкретных корректирующих мерах. Он также обеспечивает методологическую основу для интеграции механизмов стимулирования (снижение штрафов за компенсационные усилия) в программы экологического перехода. В конечном счете, такой подход может быть использован для стратегического планирования устойчивого развития, бюджетирования региональных экологических фондов, а также для диалога с местными стейкхолдерами (компаниями, НКО, населением).

Основная часть

Методология исследования

Используемый в рамках исследования подход основан на предварительном структурировании описательной онтологии, позволяющей формализовать сложные взаимодействия между ТЛС и региональными экосистемами. Онтология выделяет три основных класса факторов: (1) прямые факторы окружающей среды, отражающие непосредственное воздействие ТЛС на природную среду; (2) социально-экономические факторы, отражающие социальные и экономические последствия внешних экологических факторов; (3) регулятивные и компенсационные факторы, направленные на смягчение воздействия с помощью инструментов государственной политики или частных инициатив.

Предлагаемый процесс регионального ранжирования базируется на трех взаимосвязанных методологических осях: построение интегрированного Индекса Экологического Состояния (IES, Integrated Environmental Score), адаптивное взвешивание онтологических факторов в соответствии с территориальной спецификой и стандартизация показателей для обеспечения межрегиональной сопоставимости [1].

Первым шагом является определение IES как агрегированной функции субпоказателей, принадлежащих к каждой группе факторов. В качестве факторов окружающей среды мы используем следующие параметры: среднегодовая концентрация загрязнителей воздуха (NO_x, CO, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}), уровень шумового загрязнения, выраженный во взвешенных децибелах (дБ(А)), скорость загрязнения почвы и воды углеводородами и химическими веществами, площадь поверхности деградированных или искусственно модифицированных земель для логисти-

ческих нужд и, наконец, отраслевой углеродный след измеряется в эквиваленте CO₂ [2].

Каждый субиндикатор рассчитывается на основе официальных данных природоохранных ведомств (например, Росприроднадзора, Минприроды) в соответствии с однородными протоколами измерений. Затем значения преобразуются в безразмерные индексы по шкале от 0 до 1 с использованием метода нормализации min-max, что позволяет поддерживать относительную пропорциональность между областями при одновременном устранении искажений, вызванных единицами измерения.

Вторая категория факторов, а именно производные социально-экономические последствия, интегрирована в IES с помощью косвенных показателей: изменение занятости в логистическом секторе, динамика среднего дохода на душу населения, дополнительная нагрузка на систему общественного здравоохранения, связанная с экологическими патологиями (респираторные и сердечно-сосудистые заболевания), миграционные потоки, связанные с ухудшением условий жизни, и т. д. индекс инвестиционной привлекательности, особенно в «зеленых» секторах.

Для обеспечения аналитической согласованности эти субиндикаторы также приводятся к стандартизированной шкале, а их весовые коэффициенты корректируются с учетом региональных коэффициентов чувствительности. Эти коэффициенты определяются на основе эмпирического анализа корреляций, наблюдаемых между колебаниями экономических показателей и местным давлением на окружающую среду [3].

Наконец, к третьей категории относятся регуляторные и компенсационные инструменты, в частности размеры экологических сборов и налогов, взимаемых на региональном уровне, доля логистических парков, переведенных на «зеленые» технологии (альтернативные виды топлива, гибридизация, электрификация), а также наличие и степень прогресса региональных программ адаптации и экологической устойчивости. Эти показатели отражают уровень институциональной и отраслевой приверженности устойчивому развитию.

Таким образом, онтологическая модель позволяет связать каждый субиндикатор с общими понятиями (загрязнение воздуха, потребление пространства, социальные издержки), способствуя иерархической агрегации данных. Итоговая агрегация ОПЭ осуществляется по следующей формуле:

$$IES_{region} = \sum w_{ei}E_i + \sum w_{si}S_i + \sum w_{ri}R_i, \quad (1)$$

где E_i представляют собой индексы окружающей среды, S_i социально-экономические индексы, а также индексы регулирования и

ции R_i . Коэффициенты w_{ei} , w_{si} и w_{ri} определены на основе многокритериального метода взвешивания, основанного на анализе относительной важности каждого фактора для качества региональной окружающей среды.

Основываясь на этой структуре, наша методология вводит инновацию по сравнению с традиционными подходами: регулирующие факторы (R_i) выступают в качестве смягчающих коэффициентов в формуле IES, что позволяет вознаграждать регионы, которые внедрили упреждающую политику по снижению воздействия на окружающую среду, в отличие от классических моделей, которые ограничены статической оценкой нагрузок без учета компенсационных усилий [4].

Взвешивание носит адаптивный характер: в регионах с высокой экологической уязвимостью (густонаселенные промышленные районы, чувствительные речные бассейны) удельный вес экологических факторов (w_{ei}) увеличивается, в то время как в регионах с экономикой, сильно зависящей от логистики и транспорта, модель придает большее значение социально-экономическим факторам (w_{si}), чтобы отразить сложность компромиссов между развитием и сохранением окружающей среда [5–10].

Затем алгоритм классификации переходит к фазе иерархической восходящей классификации, которая позволяет группировать регионы в соответствии с однородными профилями экологической проблемности, начиная от районов «с высокой нагрузкой на окружающую среду и низкой регулирующей способностью» до районов «с умеренной нагрузкой и высоким потенциалом для устойчивой адаптации». Этот метод классификации обеспечивает более динамичное и контекстуальное видение по сравнению с простыми линейными классификациями, выявляя региональные типологии, способствующие формулированию дифференцированной политики.

Оригинальность этого подхода также заключается в учете положительных внешних эффектов, возникающих в результате зеленого перехода: регионы, которые являются пионерами в интеграции устойчивых логистических технологий, получают выгоду от понижающего фактора в EIS, отражающего социальные и экологические выгоды от инноваций.

Чтобы выделить экологически проблемные регионы на основе системы штрафов за экологический ущерб, необходимо связать методологию расчёта IES с механизмом экологического регулирования и компенсации, который формирует размеры штрафов и платежей за негативное воздействие. Предлагается следующий системный подход, который будет логично встроен в онтологическую модель:

1. Формирование шкалы экологической проблемности региона на основе IES

На основе расчетов IES формируется единая шкала экологической проблемности, нормализованная от 0 (минимальная проблемность) до 1 (максимальная). Для этого:

- Регионы классифицируются по квантилям (например, квартилям или децилям) в зависимости от значений IES.
- Верхний квантиль (10–20 % регионов с наибольшим IES) автоматически попадает в категорию «Экологически критических регионов».
- Средние значения формируют группы «Регионов с повышенной нагрузкой» и «Стабильных регионов».
- Нижний квантиль отмечает «Устойчивые или компенсирующие регионы».

2. Установление базовой ставки штрафов (БШЭ) за единицу экологического ущерба:

- Базовая ставка штрафа (БШЭ) рассчитывается в зависимости от типа воздействия (выбросы, загрязнение почвы и воды, шум и т. д.).
- Устанавливается нормативно (на основе данных Росприроднадзора, Минприроды), с учётом общероссийского допустимого уровня эмиссий.

3. Корректировка штрафов с учетом регионального коэффициента экологической проблемности (КЭП).

- Для каждого региона рассчитывается коэффициент экологической проблемности (КЭП):

$$КЭП_{region} = 1 + \alpha * IES_{region} , \quad (2)$$

где α – регуляторный параметр, устанавливаемый на уровне государственной экологической политики (например, $\alpha = 2$).

Таким образом, если регион имеет высокий индекс экологической проблемности (например, $IES = 0,8$), его КЭП составит:

$$КЭП = 1 + 2 \cdot 0,8 = 2,6 . \quad (3)$$

Это значит, что все экологические штрафы на данной территории будут увеличиваться в 2.6 раза.

4. Учет компенсирующих усилий (регулятивные факторы R_i).

Величина штрафов дополнительно корректируется понижающим коэффициентом ККР (коэффициент компенсирующих расходов), отражающим:

- долю предприятий, перешедших на «зеленые» технологии;
- объем инвестиций в программы экологической реабилитации;
- выполнение региональных экологических стандартов.

$$KKP_{region} = 1 - \beta * R_i . \quad (4)$$

где R_i – индекс регулятивных факторов, β – установленный параметр чувствительности компенсаций (например, $\beta = 0.5$).

В результате регионы, активно вкладывающие в зеленую модернизацию, смогут снижать величину штрафных санкций до 30–40 %, что будет стимулировать долгосрочные экологические инвестиции.

5. Итоговая формула расчета штрафов за экологический ущерб:

$$\text{Штраф} = \text{БШЭ} * \text{Объем ущерба} * \text{КЭП}_{region} * \text{KKP}_{region} . \quad (5)$$

6. Итоговое ранжирование регионов по категориям:

– Категория I (Критическая проблемность): $\text{КЭП} > 2.5$, штрафы максимальны.

– Категория II (Высокая проблемность): $\text{КЭП} = 1.5\text{--}2.5$, штрафы значительно увеличены.

– Категория III (Умеренная проблемность): $\text{КЭП} = 1.0\text{--}1.5$, штрафы на базовом уровне.

– Категория IV (Устойчивое развитие): $\text{КЭП} < 1.0$, льготный режим пониженных платежей (при высоком ККР) [11].

Таблица, которая отражает механизм ранжирования регионов по экологическому ущербу и расчету штрафов, на основе описанной методологии, представлена ниже.

Таблица 1

Авторский механизм ранжирования регионов по экологическому ущербу и расчету штрафов [составлено автором исследования]

Показатель	Описание	Формула / Метод расчета
IES_{region} (Индекс экологического состояния региона)	Комплексный индекс, агрегирующий экологические, социально-экономические и регулятивные факторы	$IES_{region} = \sum w_{ei}E_i + \sum w_{si}S_i + \sum w_{ri}R_i$
КЭП (Коэффициент экологической проблемности региона)	Множитель, увеличивающий штрафы в зависимости от уровня экологической проблемности	$\text{КЭП} = 1 + \alpha * IES_{region}$
ККР (Коэффициент компенсирующих расходов)	Понижающий коэффициент, учитывающий внедрение зеленых технологий и программы устойчивого развития	$KKP_{region} = 1 - \beta * R_i$

Окончание табл. 1

Показатель	Описание	Формула / Метод расчета
БШЭ (Базовая ставка штрафа за единицу ущерба)	Устанавливается нормативно по каждому виду воздействия (выбросы, загрязнение, шум и т. д.)	Нормативные акты (Росприроднадзор, Минприроды и др.)
Объем экологического ущерба	Фактические измерения загрязнений (тонны выбросов, гектары деградации почвы и т. д.)	Данные экологического мониторинга
Итоговый штраф	Окончательная сумма штрафа за негативное воздействие на окружающую среду	Штраф = БШЭ * Объем ущерба * КЭП _{region} * ККР _{region}
Категория экологической проблемности региона	Классификация региона на основе значения КЭП	Категория I (>2.5), II (1.5-2.5), III (1.0-1.5), IV (<1.0)

α (альфа) – параметр усиления чувствительности штрафов к экологической проблемности (рекомендуется от 1.5 до 2.5); β (бета) – параметр, определяющий силу снижения штрафов за компенсирующие мероприятия (от 0.3 до 0.7).

Результаты исследования

Предлагается классифицировать некоторые регионы России, в т. ч. Республику Хакасия, в соответствии с описанным методологическим механизмом экологической классификации и расчета штрафов.

IES_{region} (нормализованное накопление загрязнений: воздух, вода, почва): контролируемые и нормализованные данные по данным Стратегии социально-экономического развития Республики Хакасия до 2030 г. [12].

Норильск характеризуется очень высоким промышленным загрязнением (атмосферный воздух, тяжелые металлы, SO₂ ≈ 1,8 млн т/год) → IES_{region} ≈ 2,5

Дзержинск характеризует массовое химическое заражение, индекс ≈ 2.0.

Хакасия (относительно умеренный регион) - IES_{region} ≈ 1,2 (иллюстративное значение, среднее загрязнение территорий Сибири).

Средний Урал - IES_{region} ≈ 1,5

Взвешивание коэффициентов: $\alpha = 0,3$ (для КЭП), $\beta = 0,2$ (для ККР). Объем урона (где это применимо), установлен с использованием единицы измерения, равной 1,000, ВШЭ – стандартная денежная единица.

Расчет коэффициентов осуществляется по формулам:

$$КЭП_{region} = 1 + \alpha \times IES_{region}$$

$ККР_{region} = 1 - \beta \times (\text{некоторые нормализованные } R_i) \rightarrow \text{предполагаем } R_i \approx IES_{region}/3 \text{ (ограниченная, но коррелированная компенсирующая способность).}$

Таблица 2

Оценка регионов [составлено автором исследования]

Регион	IESregion	КЭП	ККР
Норильск	2.5	$1 + 0,3 \times 2,5 = 1,75$	$1 - 0,2 \times (2,5/3 = 0,83) \approx 0,83$
Дзержинск	2.0	$1 + 0,3 \times 2,0 = 1,60$	$1 - 0,2 \times (2,0/3 \approx 0,67) \approx 0,87$
Средний Урал	1.5	$1 + 0,3 \times 1,5 = 1,45$	$1 - 0,2 \times (1,5/3 = 0,50) = 0,90$
Республика Хакасия	1.2	$1 + 0,3 \times 1,2 = 1,36$	$1 - 0,2 \times (1,2/3 = 0,40) = 0,92$

Пример расчета штрафа по представленной модели приведен ниже. Предположим, что объем урона = 1,000 единиц, ВШЭ = 1.

Таблица 3

Расчет суммы штрафа [составлено автором исследования]

Регион	КЭП	ККР	Общий штраф = Урон $\times$ ВШЭ $\times$ КЭП $\times$ ККР
Норильск	1.75	0.83	$\approx 1\,452$ единицы
Дзержинск	1.60	0.87	$\approx 1\,392$ единицы
Средний Урал	1.45	0.90	$\approx 1\,305$ единиц
Республика Хакасия	1.36	0.92	$\approx 1\,251$ единица

По экологическому рангу Норильск относится к I категории – критический ($КЭП > 2,5$). Дзержинск - II класс – высокий ($1,5 \leq КЭП \leq 2,5$), Средний Урал относится к III категории – умеренный ($1,0-1,5$), Республика Хакасия - III уровень – умеренный, пограничный до слабого, если $IES < 1$. Хакасия классифицируется как умеренно проблемная территория в соответствии с установленными границами показателя [13–15].

Таким образом, Норильск находится в ситуации чрезвычайного экологического риска, с высоким IES, неблагоприятными коэффициентами КЭП и ККР и, соответственно, максимальным штрафом. Дзержинск, несмотря на усилия по исправлению положения, остается в фазе высокого риска: высокий IES приводит к низкому снижению санкций. Республика Хакасия – умеренное загрязнение, коэффициент КЭП менее 1,5, относительно высокий ККР, что приводит к умеренным штрафам и свидетельствует о наличии возможностей для внедрения компен-

сационных мер. Средний Урал по предложенной модели занимает промежуточное положение, требующее усиленного эпиднадзора, но менее актуальное, чем Норильск или Дзержинск.

Представленная в статье модель иллюстрирует эффективность системы приоритезации регионов в соответствии с экологической серьезностью, в непосредственной связи с обязанностями местных компаний; влияние весов α и β , которые могут быть уточнены локально в зависимости от доступности данных; аспект стимулирования: регионы с большим количеством мер по исправлению (R_i) видят, как ККР снижает штраф, поощряя эту практику; позволяет интегрировать реальные объемы ущерба (тонны выбросов, деградировавшие гектара) для получения штрафных санкций в миллионах рублей.

На основе результатов по авторской модели можно предложить комплексный сбор данных о загрязнении (мониторинг воздуха, воды, почвы) по всем субъектам федерации через Росприроднадзор / Росстат. Также необходима единая стандартизация показателей E , S , R в соответствии с валидированными научными протоколами. Следует также использовать калибровку параметров α , β в консультации с региональными экспертами и заинтересованными сторонами. В дальнейшем можно провести моделирование на всех 85 российских объектах с последующей проверкой по историческим данным об инцидентах/повреждениях (например, в Норильске).

Таким образом, приведенный пример иллюстрирует способность предлагаемого механизма составлять операционное ранжирование регионов по уровню экологического ущерба и рассчитывать соответствующие санкции. Республика Хакасия находится в умеренном сегменте, а это значит, что целенаправленная экологическая политика может поднять ее рейтинг, снизить штрафы и стимулировать более устойчивые практики.

Заключение

Преимущества подхода состоят в том, что штрафы становятся инструментом динамического регулирования, привязанного к реальному состоянию экосистемы региона. Также предполагается прямое поощрение инвестиционной активности в зеленые технологии (через ККР). Система учитывает территориальную специфику, позволяя избежать «уравниловки» между промышленно-нагруженными и экологически стабильными регионами. Гарантируется прозрачность и воспроизводимость расчётов благодаря формализованной онтологической модели.

Таким образом, предлагаемая методология представляет собой надежный аналитический инструмент, который позволяет не только

ранжировать регионы в соответствии с серьезностью экологических проблем, вызванных ТЛС, но и измерить эффективность государственной и частной политики по управлению экстерналиями. Это особенно актуально в контексте регионального стратегического планирования, перераспределения инвестиций в природоохранную деятельность, определения показателей эффективности для мониторинга Целей в области устойчивого развития (ЦУР).

Следует подчеркнуть, что эмпирическая валидация EIS требует обширной работы по сбору и гармонизации данных, а также межведомственного сотрудничества для обеспечения регулярного обновления параметров. Кроме того, онтологическая модель может быть обогащена прогностическими модулями, интегрирующими перспективные сценарии развития логистических потоков и технологических инноваций, что усилит ее роль в качестве инструмента принятия решений в территориальной экологической политике.

Библиографический список

1. Никифоров, А. А. Модернизация инструментов управления реализацией программы социально-экономического развития Арктической зоны РФ / А. А. Никифоров, В. Д. Никифорова. – Текст : непосредственный // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2023. – № 3. – С. 24–33.
2. Харютина, К. И. Социально-экономическое развитие регионов Сибирского федерального округа / К. И. Харютина. – Текст : непосредственный // Актуальные исследования. – 2023. – № 46 (176). – С. 35–42.
3. Пьянкова, С. Г. Управление цифровой транспортной инфраструктурой региона / С. Г. Пьянкова, Е. С. Заколюкина. – Текст : непосредственный // Управленец. – 2025. – Т. 15. – № 1. – С. 70–82.
4. Аникина, И. Д. Оценка эколого-экономического риска российских регионов: методика и результаты / И. Д. Аникина, А. А. Аникин. – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 10. – С. 20–25.
5. Коль, О. Д. Алгоритм оценки влияния стейкхолдеров на климатическую политику предприятий транспортно-логистического комплекса в регионе / О. Д. Коль, С. В. Прокопенков, Т. И. Безденежных. – Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 10. – С. 352–357.
6. Кирильчук, С. П. Форсайт инновационных процессов в энвиронике производственных систем / С. П. Кирильчук, И. А. Морозова. – Текст : непосредственный // π-Economy. – 2025. – Т. 17. – № 1. – С. 88–102.

7. Coşar, A. K. Road Capacity, Domestic Trade and Regional Outcomes / A. K. Coşar, B. Demir, D. Ghose, N. Young // National bureau of economics research : электронный журнал. – URL : <https://www.nber.org/papers/w29228#fromrss> (дата обращения: 07.06.2025). – Текст : электронный.

8. Gertler, P. Road Maintenance and Local Economic Development: Evidence from Indonesia's Highways / P. Gertler, M. Gonzalez-Navarro, T. Gracner, A. D. Alexander D. Rothenberg // National bureau of economics research : электронный журнал. – URL : <https://www.nber.org/papers/w30454> (дата обращения: 07.06.2025). – Текст : электронный.

9. Маймакова, Л. В. Экологические проблемы и пути их решения при развитии транспортно-логистических услуг / Л. В. Маймакова. – Текст : непосредственный // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2023. – № 1 (147). – С. 91–94.

10. Зимовец, А. В. Анализ и оценка сценариев социально-экономического развития России в условиях санкционной блокады и непредсказуемости глобальных трендов мировой экономики / А. В. Зимовец, Т. Д. Климачев. – Текст : непосредственный // Экономические отношения. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 181.

11. Тренина, И. А. Инфраструктурные проекты как драйвер экономического развития региональной системы / И. А. Тренина [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2025. – Т. 14. – № 3. – С. 101–113.

12. Закон Республики Хакасия от 29 января 2020 г. № 7-ЗРХ «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Республики Хакасия до 2030 года» (в ред. Закона Республики Хакасия от 22 июля 2022 г. № 48-ЗРХ) // Собрание законодательства Республики Хакасия. – 2020. – № 2 (часть I). – Ст. 7. – Текст : непосредственный.

13. Kaboski, J. P. Melitz Meets Lewis: The Impacts of Roads on Structural Transformation and Businesses / J. P. Kaboski, J. Lu, W. Qian, L. Ren // National bureau of economics research : электронный журнал. – URL : <https://www.nber.org/papers/w32448#fromrss>. – Дата публикации: 14.05.2025 (дата обращения: 09.05.2025). – Текст : электронный.

14. Robert, S. Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System / S. Robert, D. Norton. – Harvard Business School Press, 2016. – Текст : непосредственный.

15. Иванов, Д. М. Методология выбора варианта сертификации транспортно-логистической системы с учётом экологических эффектов / Д. М. Иванов, И. Ю. Сольская, Н. Б. Попова. – Текст : непосредственный.

ный // Бизнес. Образование. Право. – 2025. – № 2 (67). – С. 166–173. – DOI: 10.25683/VOLBI.2025.67.1002.

Н. С. Козлова, К. И. Гурьянов

*Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ КАК НЕОТЪЕМЛЕМАЯ ЧАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Культура безопасности является неотъемлемым элементом развития общества, который определяет эффективность производства путём защиты жизни и здоровья работников. Актуальность темы обусловлена сохраняющейся высокой степенью рисков на промышленных производствах и энергетических комплексах. Несмотря на положительную динамику снижения травм на производстве, уровень летальных исходов всё ещё остаётся значительным и требует сокращения путём совершенствования культуры безопасности. Статья рассматривает культуру безопасности как общую систему управления рисками, затрагивающую правовую, техническую и организационную сферы производства, подчёркивая её важность в достижении успехов для развития общества.

Ключевые слова: культура безопасности, профессиональные риски, производственный травматизм, охрана труда, статистика травматизма.

Потребность в безопасности присутствует у всех живых организмов, и в отличие от остальных, человек как существо разумное может не только противостоять опасности, но и анализировать её, чтобы выбрать наиболее эффективный путь для устранения и не допущения её повторения в дальнейшем.

Культура безопасности тесно связана с множеством понятий в области охраны труда, наиболее существенное значение имеют производственные риски. Производственные риски представляют опасность возникновения негативных явлений на производстве, результатом которых могут стать материальные потери в виде порчи оборудования, причинение вреда здоровью сотрудников, вплоть до летального исхода. Такой вид рисков способен возникать из-за природных воздействий (пожары, затопления, землетрясения и т. д.), или, что чаще всего, из-за антропогенного фактора в виде неосторожности сотрудников или некорректного обслуживания оборудования.

Считается, что понятие «культура безопасности» возникает в 80-е годы прошлого столетия. Головин Н.Л., автор работы [1], указывает: «После Чернобыльской трагедии в 1986 г. эксперты Международной консультативной группы по ядерной безопасности (МАГАТЭ), изучающие ее причины и последствия, впервые объединили понятия «культура» и «безопасность» и признали, что отсутствие культуры безопасности явилось одной из основных причин этой аварии». В своей статье он подчеркивает, что изначально культура безопасности применялась только к персоналу особо опасных объектов таким, как работники, обслуживающие атомные электростанции, и только потом начала применяться к каждому человеку в отдельности и к обществу в целом.

Сфера обеспечения безопасности, представляющая собой многокомпонентную структуру, призвана разрешать проблемы различного содержания и носящие характер технический, биологический, организационный, экономический. Ключевым компонентом в структуре системы обеспечения безопасности признана культура безопасности, охватывающая наиболее сложные аспекты деятельности человека, связанные с его мировоззрением, психологическими особенностями. Культура безопасности может трактоваться как степень развития способности человека предупредить и уменьшить вред, причиняемый опасными факторами жизнедеятельности не только ему лично, но и окружающим людям. Формирование культуры безопасности, как обязательной составляющей общей культуры человека, является важнейшей задачей образовательной системы, призванной претворить состояние обеспечения безопасности жизнедеятельности во внутреннюю потребность индивида.

Первой и главной чертой культуры безопасности служит личное осознание важности безопасности. Каждый сотрудник должен осознавать важность мер безопасности, ведь если один работник нарушает правила безопасности, то он рискует не только своим здоровьем, но и здоровьем своих коллег, может привести к опасным ситуациям и травматизму на производстве. Методы повышения уровня культуры безопасности на транспорте авторами рассматривались в работах [2–4].

Существует инструмент, помогающий организациям в оценивании уровня культуры безопасности и определении направления её дальнейшего развития. Кривая Брэдли демонстрирует зависимость снижения уровня травматизма при повышении осознанности сотрудников (рис. 1). Она обозначает 4 уровня культуры безопасности: реактивный, зависимый, независимый и взаимозависимый.

На первом, реактивном уровне культуры безопасности, никто не задумывается о последствиях и меры принимаются исключительно после

происшествия, а ответственность за безопасность на производстве возложена на службу охраны труда.

Второй уровень, зависимый, в этом случае безопасность обязательна для каждого сотрудника, но соблюдается только при наличии строгого контроля.

Третий уровень культуры безопасности, независимый, когда сотрудники осознают ценность безопасности на производстве и понимают собственную ответственность за своё здоровье.

Четвёртый уровень называют взаимозависимым, главной ценностью организации считается безопасность, и сотрудники уже заботятся не только о себе, но и других коллегах.

Основная цель этого инструмента – показать, что большая часть инцидентов на производстве происходит по вине человека, из-за его необдуманного поведения и несерьёзного отношения к культуре безопасности. Задача каждого производства – добраться до четвёртого уровня на кривой Брэдли, но далеко не всегда она успешно решается. Возможны ошибки в работе службы охраны труда, некачественная разработка инструкций и недостаточно высокий уровень корпоративной культуры работников, допускающих халатное отношение к требованиям безопасности.



Рис. 1. Кривая Брэдли

По сообщениям Международной организации труда (МОТ) ежегодно в России фиксируется большое число чрезвычайных ситуаций на энергетических объектах.

По данным, опубликованным Ростехнадзором за период с 2015 по 2024 гг., представленным на рис. 2, заметно снижение количества несчастных случаев со смертельным исходом [5].

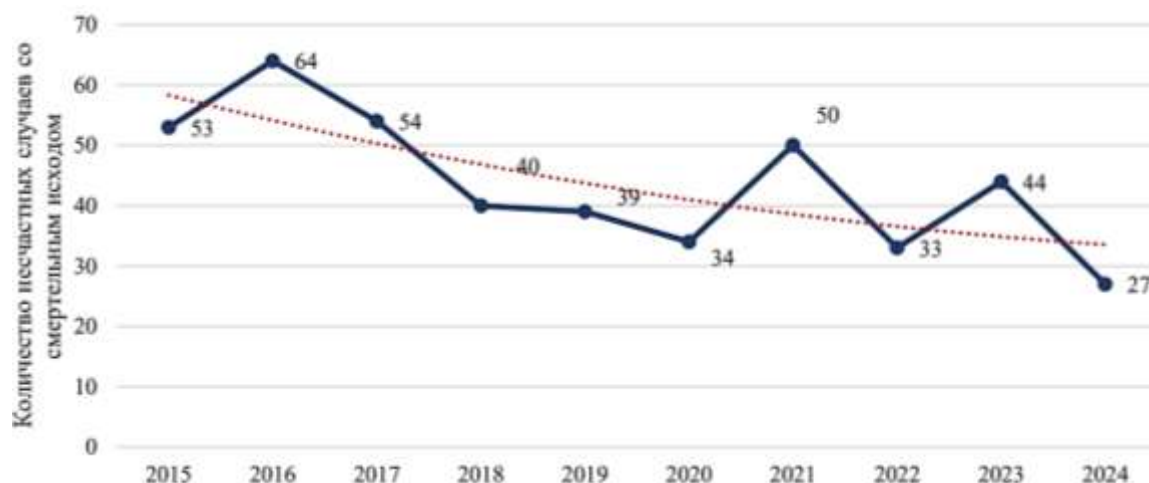


Рис. 2. Динамика несчастных случаев на производстве со смертельным исходом за 2015–2024 гг.

На энергоустановках, поднадзорных Ростехнадзору организаций, достигнуто сокращение числа смертельных случаев на производстве почти наполовину – на 49,06 % за 10 лет, что говорит о положительной динамике в организации охраны труда. Внедрение в производство специальной оценки условий труда (СУОТ), мониторинга рисков, выделение средств на финансирование предупредительных мер позволило обеспечить полученные результаты.

С целью организации качественной оценки профессионального риска и устранения травматизма необходимо установить причину появления того или иного риска на производстве; для диагностики причины потребуется внедрение многоуровневого анализа, включающего в себя: оценку влияния внешних условий, мониторинг человеческого фактора, проведение ретроспективного анализа, анализ корневых причин, сбор и систематизацию данных.

Для определения связи случаев производственного травматизма с видами оборудования, задействованного на предприятиях, осуществлен анализ за пятилетний период с 2020 г. по 2024 г. (рис. 3).

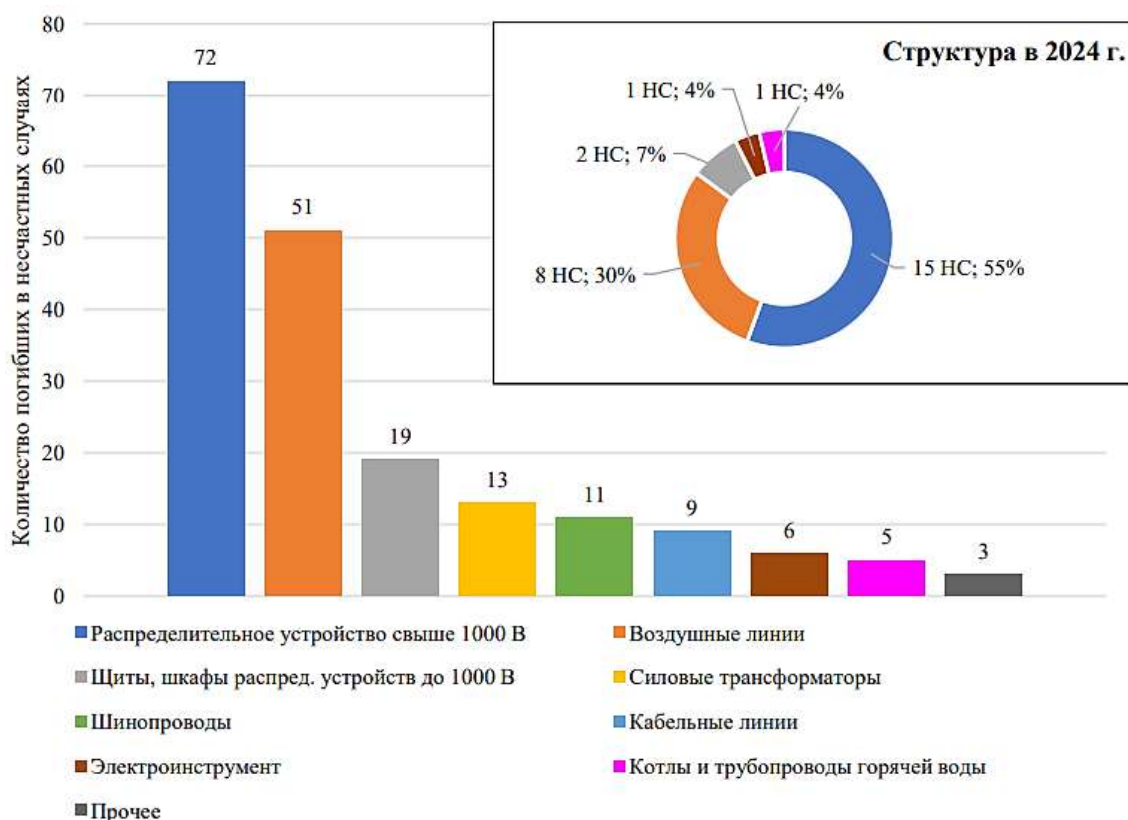


Рис. 3. Распределение несчастных случаев на объектах, поднадзорных Ростехнадзору за 2020–2024 гг., по видам оборудования

Приведенные данные демонстрируют, что наибольшую опасность для здоровья работника представляют распределительные устройства, работающие с напряжением свыше 1000 вольт, на них приходится больше половины общего числа несчастных случаев. Второе место по количеству несчастных случаев отводится воздушным линиям, количество происшествий, связанных с их эксплуатацией, составляет почти третью часть общего количества случаев (30 %).

Снижение общего количества несчастных случаев на производстве достигнуто, однако сохранение положительной динамики в будущем требует повсеместного повышения уровня производственной культуры безопасности.

Библиографический список

1. Головин, Н. Л. Понятие «культура безопасности», его развитие и анализ / Н. Л. Головин. – Текст : непосредственный // Педагогический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 4А. – С. 32–47. – DOI: 10.34670/AR.2021.14.17.004.

2. Козлова, Н. С. Методы повышения культуры безопасности на производстве / Н. С. Козлова, С. Д. Соловьёв. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту : материалы XVI международной научно-практической конференции (2023, Самара) / Международная научно-практическая конференция «Наука и образование транспорту», 2023. – Том 1 / редкол. : М. А. Гаранин [и др.]. – Самара : СамГУПС, 2023. – С. 330–333.

3. Козлова, Н. С. Повышение уровня культуры безопасности на транспортном предприятии / Н. С. Козлова, С. Д. Соловьёв. – Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции: «Энергетика: состояние и перспективы развития»; Таджикский технический университет им. академика М. С. Осими. – Душанбе: ЦИ и ПТТУ им. академика М. С. Осими, 2023. – С. 558–561.

4. Козлова, Н. С. Решение вопросов безопасности на транспортном предприятии / Н. С. Козлова, А. В. Скольский, Г. Р. Улиахметов. – Текст : непосредственный // XLVIII Самарская областная научная конференция : тезисы докладов : в 2-х томах. – Апрель, 2022. – Самара – Санкт-Петербург : Эко-Вектор Ай-Пи, 2022. – Т. 2. – С. 399-400.

5. Анализ травматизма с летальным исходом на поднадзорных Ростехнадзору энергетических объектах за период 2020–2024 гг. и формирование рекомендаций по его снижению. – № 2. – URL : <https://clck.ru/3Q4kSK> (дата обращения: 21.10.2025). – Текст : электронный.

Н. В. Лугаськова, К. А. Прокопьева, В. С. Верлан
*Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Статья посвящена инновационным методикам утилизации металлургических отходов, открывающим новые горизонты для эффективного использования вторичных ресурсов в сфере строительства. Рассматриваются особенности классификации и переработки различных видов шлаков, подчёркиваются возможности их внедрения в производственные процессы изготовления стройматериалов, дорожного полотна и железобетонных конструкций. Акцентируется внимание на экономических выгодах и экологической безопасности переработки шлаков.

Ключевые слова: вторичные ресурсы, переработка металлургических отходов, строительные материалы, дорожное покрытие, железная дорога.

Развитие металлургической отрасли оказывает значительное влияние на формирование современной экономики государств. Вместе с тем, расширение объёмов производства неизбежно влечёт образование значительных количеств побочных продуктов, важнейшими из которых являются шлаки. В России, в шлаковых отвалах накоплено 800 миллионов тонн шлаков чёрной и цветной металлургии. Ежегодно образуется более 95 миллионов тонн шлаков, в т. ч. около 79 миллионов тонн шлаков доменного, сталеплавильного, литейного и ферросплавного производств [1].

Шлаки являются неизбежным побочным продуктом основного производства, выход которых составляет от 10 до 40 % произведённого металла [2]. До недавнего времени доминирующей практикой была утилизация шлаков путём складирования на специализированных площадках, что приводило к негативным последствиям для окружающей среды, таким как деградация земельных угодий, загрязнение подземных вод и ухудшение качества воздуха вследствие пылевых выбросов.

Однако глобальное осознание важности устойчивого развития и повышение ответственности перед природой привели к формированию нового подхода к работе с отходами металлургии. Сегодня металлургические шлаки воспринимаются не как нежелательные побочные продукты, а как ценный ресурс, способствующий решению ряда серьёзных экологических и социально-экономических вопросов.

Рациональное использование металлошлаков позволяет экономить природные ископаемые, снижать затраты на производство и обеспечивать высокие показатели экологической эффективности практически во всех областях хозяйственной деятельности.

В зависимости от источника образования металлургические шлаки подразделяются на два основных типа. Это – доменные шлаки, являющиеся побочным продуктом при выплавке чугуна в доменной печи при смешении железосодержащей руды, флюса и топлива в виде кокса. Чугун образуется при восстановлении оксидов железа оксидом углерода. Процесс сопровождается нагреванием [3]. В зависимости от метода охлаждения выделяются гранулированные (быстро затвердевающие) и отвальные (медленно затвердевающие) фракции, отличающиеся по своим свойствам.

Отвальные шлаки с точки зрения экологической опасности представляют наибольшую угрозу в связи с высокой способностью к активному взаимодействию с компонентами окружающей среды, образуя оксиды металлов, оказывающие вредное воздействие на компоненты среды включая биоту.

Другой тип шлаков – сталеплавильные шлаки, формирующиеся при производстве стали также содержат накопления свободных оксидов кальция и магния, что усложняет их переработку и хранение в связи с высокой реакционной способностью.

Перед процессом переработки шлаки подвергаются предварительной подготовке – измельчению, сортировке и удалению металлических примесей с помощью магнитной сепарации. В дальнейшем применяются специализированные технологии обработки, такие как грануляция для доменных шлаков и методы, ориентированные на минимизацию увеличения объёма сталеплавильных шлаков. Дополнительные этапы, такие как сушка и термоактивирование, помогают достичь необходимых характеристик конечного продукта и возможности его использования.

Металлургические шлаки находят широкое применение в строительной отрасли. Используются для приготовления шлакобетонных блоков, которые благодаря их высоким теплоизоляционным характеристикам пользуются популярностью в жилищном строительстве, обеспечивают низкие энергозатраты и не требуют автоклавной обработки. Минеральная вата из шлаков, получаемая методом расплава и волокнообразования, становится превосходной альтернативой традиционным видам минеральной изоляции, обеспечивая лучшее тепло- и звукоизоляционные свойства. Мелкоизмельченные шлаки используются как основа гидроизоляционных кровельных материалов и прочных влагостойких покрытий [4].

Высокий потенциал металлургических шлаков также проявляется в их использовании для дорожного строительства. Так гранитоподобный шлаковый щебень идеально подходит для устройства нижних слоёв дороги, обеспечивая прочность и морозостойкость всей дорожной структуры. Асфальтобетонные смеси со шлаковым песком демонстрируют отличные эксплуатационные свойства, что позволяет создавать долговечные покрытия с интенсивным уровнем его эксплуатации. Шлаковый балласт для железных дорог обеспечивает надёжную основу для рельсов при строительстве пути, отличающуюся высокой устойчивостью к износу.

В цементной промышленности шлаки также находят активное применение. Использование доменных шлаков при производстве шлакопортландцемента позволяет заменить глину, являющуюся природным компонентом, снизить в 1,2–1,6 раза расход известняка, увеличить объем

производства цемента в 1,5–2 раза, снизить расход энергии на 40 %, улучшить экологическую обстановку в регионе.

Цементная промышленность использует гранулированный шлак как активную минеральную добавку при производстве шлак портландцемента – вяжущего вещества, твердеющего в воде и на воздухе [5]. Высокопрочные цементы на основе доменных шлаков уменьшают тепловые потери при затвердевании, повышая долговечность конструкций. Активация сульфат устойчивых добавок позволяет производить качественные цементы с низкой водопроницаемостью.

Отмечена эффективность применения металлургических шлаков в железнодорожной инфраструктуре, где они представляют собой особую ценность для создания железнодорожных магистралей. Их уникальная структура обеспечивает высокую надежность и устойчивость к деформации. Среди главных преимуществ шлакового балласта следует отметить высокую плотность укладки для оптимального сцепления, снижение уровня вибрации и шума под воздействием поездов, повышения степени фильтрации стоков, способствующей предотвращению разрушения конструкции.

Экологическая безопасность использования металлургических шлаков не менее важна и обеспечивается снижением необходимости в добыче полезных ископаемых, сохраняя природный ландшафт и минимизируя воздействие на природу. Каждый килограмм шлака, используемого в строительстве, предотвращает выброс эквивалентного количества углекислого газа, который образуется при традиционном производстве материалов.

Практическая реализация переработки шлаков приносит значительные финансовые выгоды. Так стоимость шлакового балласта ниже, чем у традиционных материалов, на 25 % и более. Увеличивается срок службы между ремонтами на 15–20 %. Снижаются транспортные расходы благодаря расположению шлаковых предприятий непосредственно с источниками сырья. Эти обстоятельства подтверждают, что применение металлургических шлаков может принести не только экономическую выгоду, но и значительный вклад в защиту окружающей среды [6].

Переработка металлургических шлаков и их эффективное включение в стройкомплекс становятся ключевыми элементами стратегии циркулярной экономики. Применяя современные методики, предприятия получают конкурентоспособные материалы, способные заменить дефицитные природные ресурсы и удовлетворить потребности рынка.

Основными направлениями в разработке инновационных проектов в этой области должно быть совершенствование нормативных докумен-

тов, разработка новых сфер возможного использования отхода и соответственно стимулирование спроса на товары, произведённые из металлургических отходов. Масштабное внедрение этих практик позволит сохранить качество окружающей среды на уровне самовосстановления нарушенного баланса, одновременно создавая условия для долгосрочной финансовой выгоды и устойчивого экономического роста.

Таким образом, переработка металлургических шлаков открывает путь к новому уровню индустриального развития, ориентированному на сохранение природных ресурсов и улучшение экономической ситуации.

Библиографический список

1. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряжённости. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-othodov-metallurgicheskoy-promyshlennosti-v-stroitelnoy-industrii-kak-sposob-sberezheniya-prirodnih-resursov-i>. – Текст : электронный.
2. Формирование шлаков металлургического передела и основные направления их применения. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-shlakov-metallurgicheskogo-peredela-i-osnovnye-napravleniya-ih-primeneniya/viewer>. – Текст : электронный.
3. Современные тенденции управления отходами доменного производства. – URL : <https://esj.today/PDF/30NZVN622.pdf>. – Текст : электронный.
4. Лесникович, А. С. Строительные материалы из отходов производств / А. С. Лесникович, В. И. Пашкевич. – Минск : БНТУ, 2017. – 275 с. – Текст : непосредственный.
5. Производство строительных материалов из металлургических шлаков. – URL : <https://ztbo.ru/o-tbo/lit/pererabotka-promishlennix-otxodov/proizvodstvo-stroitelnykh-materialov-izmetallurgicheskikh-shlakov>. – Текст : электронный.
6. Тельман, Р. Р. Перспективы использования металлургических шлаков в дорожном строительстве / Р. Р. Тельман, В. В. Черкасов. – Текст : непосредственный // Транспортное строительство. – 2020. – № 5. – С. 32–35.

С. М. Микаилов, В. Е. Казенас

*Курганский институт железнодорожного транспорта,
г. Курган, Россия*

**ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВБЛИЗИ СТАНЦИЙ
МОБИЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ И ПРОБЛЕМАХ
ЕГО НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

В статье рассматриваются социально-правовые аспекты, связанные с работой передающих радиотехнических объектов сотовой связи (станций мобильных операторов) в городских условиях, а также с обеспечением электромагнитной безопасности населения, проживающего в этих районах. При этом особое внимание уделяется проблемам нормативно-правового регулирования в данной области.

Автор аргументирует свою позицию о том, что из-за отсутствия возможности постоянного контроля уровень уязвимости населения в плане электромагнитного воздействия увеличивается, а существующее правовое регулирование не способно гарантировать достаточную защиту. В качестве решения исследуемых проблем автор предлагает разработать концептуальную законодательную базу, которая введёт прямое правовое регулирование в сфере электромагнитной безопасности и позволит проводить эффективную государственную политику в этой области.

Ключевые слова: безопасность, электромагнитная безопасность, сотовая связь, мобильные операторы, станции мобильных операторов, урбанизированные территории, электромагнитные излучения.

На протяжении всей своей истории человечество постоянно взаимодействовало с электромагнитными излучениями. Однако в прошлые века их источниками были природные явления, а сама природа, при этом обеспечивала защитные механизмы, минимизируя вред его здоровью. Например, магнитное поле планеты отклоняет поток солнечных и других космических излучений, озоновый слой атмосферы фильтрует солнечную радиацию и защищает человека от жёсткого электромагнитного излучения и т. п.

В наше время, в XX и особенно в XXI в., ситуация несколько изменилась: люди столкнулись с резко возросшим уровнем техногенных электромагнитных излучений, источником которых стали продукты научно-технического прогресса – проводные и беспроводные устройства, широко применяемые в быту и промышленности.

Однако, в отличие от естественных природных процессов, эффективность защиты от искусственных излучений, применяемых производителями и пользователями техники, вызывает сомнения. Это связано как с недостаточной изученностью их влияния на организм человека, так и с пробелами в правовом регулировании использования источников таких излучений.

Соответственно, полагаем, что необходимость рассмотрения обозначенного в заглавии настоящей статьи вопроса связана с тем, что стремительное развитие информационно-телекоммуникационных технологий привело к увеличению числа радиотехнических объектов в городах, особенно базовых станций сотовой связи. Данное обстоятельство вызывает совершенно справедливую тревогу среди населения, поскольку медицинские исследования всё чаще указывают на вред искусственных электромагнитных полей и рост связанных с ними заболеваний. При этом замечено, что особенно они стали характерны для урбанизированных территорий, в т. ч. вблизи расположения станций операторов сотовой связи.

В тоже время, расширение зон покрытия операторами связи происходит настолько быстро, что государственное регулирование не успевает адекватно реагировать на потенциальные угрозы электромагнитной безопасности населения. Таким образом происходит отставание законодательной базы от технологического прогресса.

В определённой степени возникновению такой ситуации способствовало отсутствие должного объёма научно-технических знаний и опыта в данной сфере и достаточных исследований вопросов электромагнитной безопасности урбанизированных территорий вблизи базовых станций мобильных операторов.

При этом, обеспокоенность населения вопросами электромагнитной безопасности, связанных с расположением базовых станций мобильных операторов продолжает расти. В частности, по официальной информации Роспотребнадзора, количество обращений граждан по данным вопросам с 2016 г. по 2019 г. возросло в 1,5 раза и составило 3058 [9]. За последующие годы, полагаем, их количество также кратно возросло, учитывая возрастающий объём публикаций по данному вопросу и комментариев граждан в социальных сетях.

Вопросам электромагнитной безопасности посвящены труды многих исследователей. Хотя вопросы электромагнитной безопасности изучались такими исследователями, как Маслов М.Ю. [10], Григорьев О.А., Гошин М.Е. [7, 8] и другими, проблема урбанизированных территорий вблизи базовых станций остаётся малоисследованной и представителями научного мира в должной мере не изучались.

В настоящее время, вопросы установки базовых станций мобильных операторов регулируются требованиями СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях» [3], СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» [4], СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» [5] в соответствии с которыми владелец станции, на основании санитарно-эпидемиологической экспертизы, должен получить санитарно-эпидемиологическое заключение на проектную документацию, тем самым подтвердив, что уровень плотности потока энергии электромагнитных излучений в исследованной зоне соответствует установленным требованиям.

При этом, по той же информации Роспотребнадзора, из 1723 проверок объектов электромагнитных излучений базовых станций сотовой связи, почти на четверти из них (21 % или 357 объектов) были выявлены нарушения требований санитарно-эпидемиологических норм, а уровень излучений превышал установленные пределы [9].

Данный факт свидетельствует о том, что в виду длительной периодичности контроля состояния электромагнитного поля (один раз в три года согласно СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» [5] и требований Федерального закона от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» [2; ст. 9 ч. 2.]) и невозможности, в связи с этим, проведения повседневного контроля данной сферы, уровень уязвимости электромагнитной безопасности населения возрастает. Контроль уровня электромагнитных потоков возложен также на владельцев базовых станций сотовой связи, которые согласно вышеназванных СанПиН должны его проводить не реже одного раза в три года, что является, на наш взгляд, также слишком длительным периодом. Кроме того, считаем, что возложение контрольных функций на заинтересованных в реализации возмездных услуг субъектов не в полной мере способствует объективности результатов такого контроля.

Следовательно, полагаем, что степень противодействия угрозам электромагнитной безопасности урбанизированных территорий вблизи базовых станций мобильных операторов не в полной мере отвечает потребностям общества и государства и, соответственно, требует повышенного внимания, научной проработки и правового совершенствования.

На возрастающую проблему необходимости защиты от электромагнитных излучений искусственного характера обращают также внимание представители научного сообщества.

В частности, о превращении электромагнитного поля антропогенного характера в опасный экологический фактор и его влияние на состояние электромагнитной безопасности населения обосновали в своих работах Сподобаев Ю.М. и Кубанов В.П. [11], вопросы влияния электромагнитных излучений на человека и защите от них посвящены работы Грачёва Н.Н., Мыровой Л.О. [6], Степанова А.Н. и Степановой И.П. [12] и др.

Рассматривая современное состояние правовой регламентации данной сферы можно отметить, что если в целях противодействия угрозам электромагнитной безопасности, население может воспользоваться нормами Жилищного кодекса Российской Федерации, [1; ст. 36] в соответствии с которым земельный участок и объекты общего имущества многоквартирного дома могут быть переданы в пользование другим лицам только с согласия всех собственников (то есть разместить станции сотовой связи без их согласия не получится), то вопросы их установки на других территориях и объектах, в т. ч. общественных местах, вблизи школ, лечебных учреждений и т. п., законодательством не урегулирован.

Кроме того, отсутствие должной правовой регламентации сферы электромагнитной безопасности порождает угрозы общественной безопасности. Например, население, озаботившись защитой своего здоровья, стало самостоятельно искать способы защиты от пагубного воздействия искусственного электромагнитного излучения, чем тут же воспользовались недобросовестные дельцы и мошенники. В частности, на рынке можно встретить многочисленные индивидуальные средства защиты от электромагнитных излучений (в т. ч. излучений от сотовых вышек и мобильных телефонов), не имеющих научно доказанной эффективности и соответствующих медицинских рекомендаций (в виде карточек из стекловолокна, металла и пластика, которые поглощают радиоволны, специальные чипы, которые устанавливаются на сотовый телефон и т. п.). Применение и оборот таких устройств также не регламентирован нормами права.

В целом, в виду отсутствия концептуального законодательного акта, регламентирующего сферу электромагнитной безопасности, можно констатировать, что прямого правового регулирования данной сферы в российском государстве не существует, а нормативные и правовые акты, касающиеся данную область общественных отношений, носят локальный и разрозненный характер, что свидетельствует о необходимости её систематизации и совершенствования.

Таким образом, полагаем, что создание концептуальной законодательной базы (например, в виде Федерального закона «Об обеспечении электромагнитной безопасности») будет генерировать медико-биологические и научно-технические исследования проблем электромагнитной безопасности, в т. ч. урбанизированных территорий вблизи базовых станций мобильных операторов, что в свою очередь, способствует выработке новых средств и методов противодействия угрозам её нормальному состоянию. Кроме того, полагаем, создание комплексной правовой базы не только улучшит электромагнитную безопасность, но и укрепит доверие общества к государственной политике в этой сфере.

Библиографический список

1. Жилищный кодекс Российской Федерации // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2005. – № 1 (часть I), ст. 14. – Текст : непосредственный.
2. Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008, № 52 (часть I), ст. 6249. – Текст : непосредственный.
3. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях». – URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12077273/> (доступ за 03.01.2025 г.). – Текст : непосредственный.
4. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов». – URL : <https://base.garant.ru/12131290/> (доступ за 03.01.2025 г.). – Текст : непосредственный.
5. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи». – URL : <https://base.garant.ru/4179040/> (доступ за 03.01.2025 г.). – Текст : непосредственный.
6. Грачёв, Н. Н. Защита человека от опасных излучений / Н. Н. Грачёв, Л. О. Мырова. – Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 317 с. – Текст : непосредственный.
7. Григорьев, О. А. Особенности национальной политики, определяющей подходы к гигиеническому нормированию электромагнитного поля радиочастот в различных странах / О. А. Григорьев, М. Е. Гошин, А. В. Прокофьева, В. А. Алексеева. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 2019. – № 98 (11). – С. 1184–1190.

8. Григорьев, О. А. Электромагнитная безопасность населения. Национальные и международные нормативы электромагнитных полей радиочастотного диапазона / О. А. Григорьев, В. Н. Никитина, В. Н. Носов [и др.]. – Текст : непосредственный // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – № 10 (331). – С. 29–33.

9. Информация Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 5 августа 2020 г. «О безопасности базовых сотовых станций». – URL : <https://docs.cntd.ru/document/565476531> (доступ за 03.01.2025 г.). – Текст : непосредственный.

10. Маслов, М. Ю. Обоснование предметной области электромагнитной безопасности / М. Ю. Маслов, Ю. М. Сподобаев, М. Ю. Сподобаев. – Текст : непосредственный // Электросвязь. – 2018. – № 11. – С. 63–67.

11. Сподобаев, Ю. М. Основы электромагнитной экологии / Ю. М. Сподобаев, В. П. Кубанов. – Москва : Радио и связь, 2000. – 240 с. – Текст : непосредственный.

12. Степанов, А. Н. Электромагнитная безопасность : учебное пособие / А. Н. Степанов, И. П. Степанова. – Издание 3-е, переработанное и дополненное. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 262 с. – Текст : непосредственный.

Н. А. Новобрицкая, Е. А. Руш

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕТОДОВ ПРОФИЛАКТИКИ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Настоящее исследование представляет собой комплексный анализ причин и способов неконтролируемых выбросов токсических соединений – винилхлорида (C_2H_3Cl), дихлорэтана ($C_2H_4Cl_2$) и высококипящих отходов производства – а также методов их предупреждения. Применение причинно-следственного моделирования позволило выявить ключевые факторы риска, к которым, в частности, относятся коррозионные процессы в технологическом оборудовании, человеческий фактор при эксплуатации установок, механические воздействия и систем безопасности.

В работе обоснован и детально описан комплекс превентивных мероприятий, направленных на минимизацию производственных рисков.

Данный комплекс включает внедрение регламентированного технического обслуживания, системы антикоррозионной защиты, обязательной программы повышения квалификации персонала, а также создание резервной системы датчиков и системы оповещения. Принципиальное значение придается реализации системного подхода, обеспечивающего своевременное выявление и устранение факторов, способных инициировать аварийную ситуацию [1].

Ключевые слова: винилхлорид C_2H_3Cl (ВХ), дихлорэтан $C_2H_4Cl_2$ (ДХЭ), высококипящие отходы (ВК), дерево событий.

Введение

Предприятия химической промышленности, работающие с опасными веществами (винилхлоридом, дихлорэтаном и высококипящими отходами), подвержены серьезному риску из-за разгерметизации оборудования. Утечка этих токсичных соединений может вызвать катастрофические последствия, включая загрязнение окружающей среды, угрозу здоровью работников и жителей близлежащих территорий. Данное исследование направлено на выявление и систематизацию факторов, приводящих к авариям, а также на разработку превентивных мер для снижения вероятности их возникновения [2].

1 Анализ причинно-следственных связей на основе дерева событий

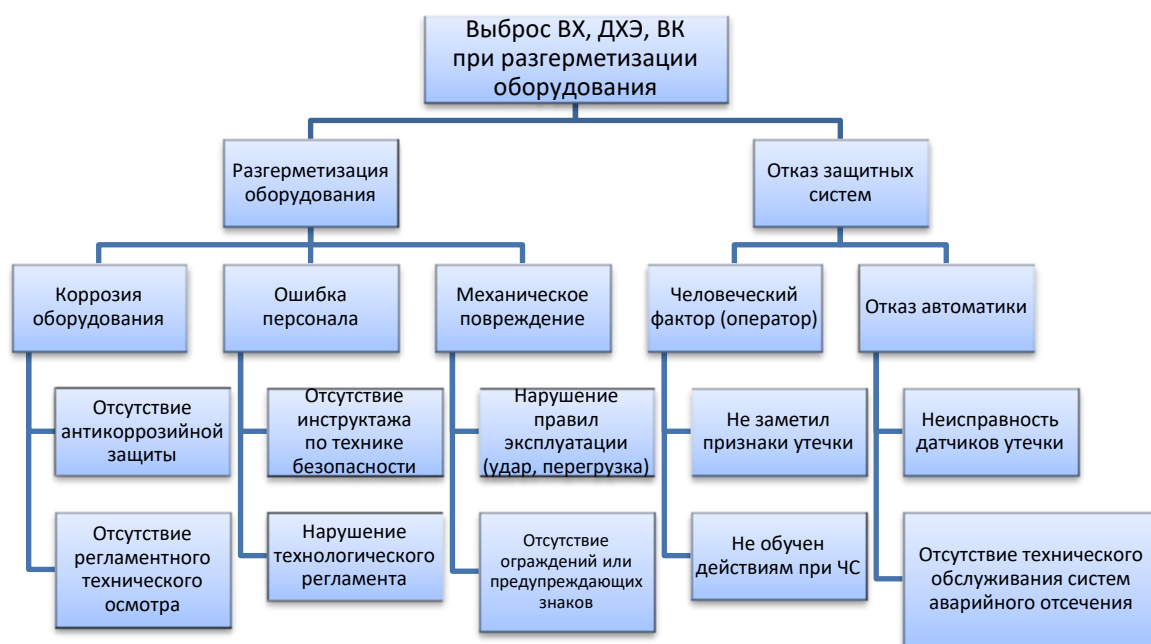


Рис. 1. Анализ причинно-следственных связей на основе дерева событий

Для выявления факторов, приведших к аварии, используется метод, основанный на построении схемы развития событий. В этой схеме, называемой «деревом событий», конечным нежелательным результатом является «Выброс опасных химических веществ». Анализ показывает, что для наступления этого события необходимо одновременное возникновение двух других: «Повреждение оборудования» и «Неисправность систем защиты». Логическая связь между этими событиями означает, что сама по себе утечка вещества не обязательно приводит к аварии, если системы безопасности работают корректно [3].

1.1 «Разгерметизация оборудования»

Утечка опасных веществ из оборудования – одна из самых серьезных проблем, угрожающих безопасности на химических предприятиях. Повреждение герметичности технологических систем, где хранятся опасные химикаты, может вызвать крупные аварии, которые нанесут серьезный вред людям, окружающей среде и финансовому состоянию предприятия. Наиболее часто и значимо к утечкам приводят следующие факторы [4]:

1.1.1 Коррозия оборудования

Коррозия оборудования представляет собой скрытую и постоянно увеличивающуюся угрозу для безопасности производства. Наиболее интенсивно оборудование разрушается при работе с агрессивными веществами, такими как винилхлорид, дихлорэтан и высококипящие отходы. В таких условиях коррозия становится главной причиной утечек опасных веществ, приводящих к масштабным выбросам.

Доведение коррозии до критического уровня обычно связано с системными ошибками, включая:

Отсутствие защиты от коррозии. Это может быть результатом ошибок при проектировании, экономии на материалах или использовании неэффективных защитных покрытий.

Несоблюдение плановых проверок. Отсутствие регулярного контроля толщины стенок оборудования и его целостности не позволяет персоналу вовремя обнаружить и устранить очаги коррозии [5].

1.1.2 Ошибка персонала

На химически опасных производствах, где используются токсичные и взрывоопасные вещества, ошибки персонала представляют собой серьезную угрозу. Эти ошибки, относящиеся к оперативным нарушениям, могут иметь катастрофические последствия. Даже незначительное отклонение от установленных правил способно спровоцировать цепную реакцию и привести к аварии. Анализ происшествий выявляет две основные причины, приводящие к ошибкам персонала:

Недостаточная подготовка по технике безопасности. Некачественное обучение, сводящееся к формальному ознакомлению с инструкциями, не позволяет сотрудникам осознать все риски, связанные с их работой.

Нарушение технологического процесса. Работа в условиях, выходящих за рамки установленных параметров (например, превышение давления или температуры), а также неправильная последовательность действий при запуске или остановке оборудования, увеличивают вероятность аварии [6].

1.1.3 Механическое повреждение

Механическое повреждение оборудования – это нарушение его физической структуры, вызванное внешним воздействием. На химических предприятиях наиболее распространены следующие виды механических повреждений:

Нарушения в эксплуатации: возникают из-за неправильного использования оборудования (например, удары, превышение допустимых нагрузок) или некомпетентного выполнения ремонтных и погрузочных операций.

Недостаточная защита: отсутствие ограждений и предупреждающих знаков, которые должны предотвращать внешние воздействия, включая столкновения с транспортными средствами [7].

1.2 «Отказ защитных систем»

Защитные системы – это критически важные меры, призванные не дать аварии случиться или снизить ее разрушительное воздействие. Их неисправность означает, что катастрофа становится неизбежной. Эффективность этих систем зависит от двух взаимосвязанных групп факторов:

1.2.1 Человеческий фактор (оператор)

Ошибки операторов, вызванные человеческим фактором, по-прежнему являются ключевым фактором отказов защитных систем. Основные проблемы:

Недостаточное внимание к признакам утечки. Это может быть связано с перегрузкой информацией или привыканием к ложным сигналам.

Неподготовленность к чрезвычайным ситуациям. Отсутствие регулярных тренировок на симуляторах приводит к некомпетентности и неэффективным действиям в критических условиях.

1.2.2 Отказ автоматики

Отказ автоматизированных систем контроля и управления приводит к сбоям в технологическом процессе. Основные виды отказов:

Ошибки датчиков: неправильная работа датчиков утечек, газоанализаторов, датчиков давления и расхода, а также датчики, не прошедшие поверку.

Проблемы с обслуживанием систем безопасности: неисправности в системах аварийного отключения, например, в приводах отсечных задвижек или системах подачи ингибитора, вызванные отсутствием регулярного технического обслуживания (заклинивание, сбои в электропитании) [8].

2 Комплекс мер по предотвращению аварий

На основе анализа дерева событий предлагается многоуровневая система мер, направленная на разрыв причинно-следственной цепи на разных этапах [9].



Рис. 2. Комплекс мер по предотвращению аварий

2.1 Профилактика разгерметизации

Нарушение целостности технологической системы является инициирующим событием для развития тяжелых аварий, следствием которых становятся выбросы токсичных соединений, воспламенения и взрывы. Минимизация данного риска реализуется в рамках трех приоритетных направлений [10].

Борьба с коррозией

Коррозия – это тихий и неизбежный враг металлоконструкций. Для управления этим риском необходим многоуровневый подход:

Непрерывный мониторинг: современные методы, такие как ультразвуковое измерение толщины стенок, метод электрического сопротивления

ния и распределенные датчики, позволяют в режиме реального времени оценивать скорость коррозии и предсказывать срок службы оборудования, не прерывая его работу.

Защитные материалы и вещества: на этапах проектирования и эксплуатации необходимо использовать коррозионностойкие материалы (например, нержавеющую сталь, сплавы, композиты), а также добавлять в рабочие среды специальные ингибиторы, замедляющие процессы коррозии.

Регулярное обслуживание и диагностика: строгое соблюдение графиков планово-предупредительных ремонтов (ППР) и проведение регулярных неразрушающих испытаний (ультразвуковой контроль, рентгенография, вихретоковый контроль) критически важны для своевременного обнаружения и устранения дефектов.

Снижение влияния человеческого фактора

Неправильные действия сотрудников часто приводят к авариям. Снизить их негативное воздействие возможно и необходимо, используя следующие методы:

Технические блокировки: это автоматизированные системы, которые не позволяют совершить опасные действия. Они реагируют на параметры, такие как давление, уровень или температура, и физически предотвращают выполнение операций, представляющих угрозу. Например, насос не запустится, если задвижка закрыта.

Четкие инструкции: операционные процедуры должны быть максимально понятными, однозначными и наглядными. Инструкции, дополненные иллюстрациями, должны быть доступны на рабочем месте. Они должны охватывать как стандартные рабочие процессы, так и действия в нештатных ситуациях.

Регулярное обучение и практика: постоянное обучение и проверка знаний персонала, включая анализ реальных происшествий и разбор конкретных примеров, помогают поддерживать высокий уровень профессионализма и формировать культуру безопасности.

2.2 Обеспечение работоспособности защитных систем

Если предотвратить начальное событие не удалось, в дело должны вступить защитные системы [11].

Повышение надежности автоматики

Безотказная работа автоматики: системы автоматической противоаварийной защиты (ПАЗ) и контроля должны функционировать без сбоев.

Резервирование для надежности: применяется архитектура "2 из 3". Это значит, что система защиты активируется только при получении

сигнала об опасности от двух из трех независимых датчиков. Такой подход предотвращает ложные срабатывания из-за неисправности одного датчика и обеспечивает срабатывание защиты при реальной угрозе [12].

Регулярное обслуживание и калибровка контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА): точность контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) со временем ухудшается. Чтобы система корректно «видела» процесс и правильно реагировала, необходимо строго соблюдать графики технического обслуживания, поверки и калибровки [13].

Повышение готовности персонала

Несмотря на продвинутые системы автоматизации, решающее значение в ликвидации аварий по-прежнему принадлежит человеку.

Для подготовки к нештатным ситуациям проводятся регулярные тренировки на специальных тренажерах. Эти тренажеры, в точности воспроизводящие производственный процесс, помогают операторам оттачивать навыки работы в различных режимах. В результате снижается стресс и повышается скорость и качество принимаемых решений.

Для оперативного оповещения о происшествиях разработана многоступенчатая система сигнализации. Она включает в себя различные виды оповещений (звуковые, визуальные, голосовые) и четкие инструкции для каждого сотрудника, от оператора до руководства, обеспечивая своевременное информирование о возникшей ситуации и необходимых действиях [14].

2.3 Три фундаментальных принципа для предотвращения аварий

Основу всех перечисленных мер составляют три ключевых принципа:

Превентивность: вместо пассивного ожидания поломок, необходимо активно выявлять потенциальные угрозы. Это достигается путем использования таких инструментов, как HAZOP (анализ опасностей и работоспособности), JSA (анализ безопасности работ) и регулярные аудиты. Важно предвидеть возможные сбои на всех этапах: от проектирования и модернизации до непосредственного выполнения работ [15].

Управление изменениями: любые, даже минимальные изменения в технологических процессах, оборудовании, составе персонала или регламентах должны проходить тщательную оценку рисков. Неконтролируемые изменения часто приводят к непредсказуемым авариям [16].

Общая ответственность: безопасность – это не только обязанность руководства, но и ответственность каждого сотрудника, от рядового специалиста до руководителя высшего звена. Необходимо формировать культуру, в которой сотрудники не только соблюдают правила безопас-

ности, но и чувствуют ответственность за действия коллег, а также имеют право инициировать остановку небезопасных работ.

Заключение

Изучение аварии с помощью моделирования показало, что выброс опасных веществ произошел не из-за одной поломки, а в результате нескольких последовательных событий. Ключевыми факторами стали повреждение оборудования и одновременный выход из строя защитных систем.

Выяснилось, что оборудование разрушалось из-за коррозии, ошибок персонала и механических повреждений. Системы безопасности отказывали чаще всего из-за человеческих ошибок и неисправностей автоматики. Эта взаимосвязь подчеркивает необходимость комплексного подхода к обеспечению безопасности.

Предложенные меры призваны предотвратить аварии на всех этапах. Они направлены на устранение причин, приводящих к авариям: от профилактики коррозии и снижения влияния человеческого фактора до обеспечения надежной работы защитных систем и обучения персонала действиям в чрезвычайных ситуациях.

Следовательно, для предотвращения аварийных выбросов недостаточно просто внедрить новые технологии. Необходимо создать целостную систему управления промышленной безопасностью. Эта система должна основываться на трех принципах: прогнозировании рисков, контроле изменений и личной ответственности каждого сотрудника. Только такой комплексный подход, сочетающий современные технологии, строгое соблюдение правил и культуру безопасности, позволит эффективно защитить людей, окружающую среду и избежать последствий крупных промышленных аварий.

Библиографический список

1. Гридина, Е. Н. Оценка состава вредных выбросов в атмосферу на предприятиях химических производств / Е. Н. Гридина. – Текст : непосредственный // Наука и молодёжь : материалы XVIII всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Барнаул, 2021 г. – Барнаул, 2021. – С. 274–277.

2. Петрова, Е. Г. Чрезвычайные ситуации с аварийным выбросом опасных химических веществ / Е. Г. Петрова. – Текст : непосредственный // Экологические системы и приборы. – 2023. – № 5. – С. 47–53.

3. Петров, А. В. Аварии на опасных производственных объектах: анализ причин и меры предупреждения / А. В. Петров, Н. С. Иванова. –

Москва : ООО «Научный центр промышленной безопасности», 2022. – 255 с. – Текст : непосредственный.

4. ГОСТ Р 55992-2014. Безопасность промышленная. Аварии и инциденты. Классификация. – Текст : непосредственный.

5. ГОСТ 9.602-2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии – [Введ. 2017-01-01]. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 45 с. – Регламентирует требования к защите оборудования от коррозии, например, к использованию антикоррозийных покрытий и материалов с высокой коррозионной стойкостью. – Текст : непосредственный.

6. Об утверждении рекомендаций по классификации, обнаружению, распознаванию и описанию опасностей : Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 31 января 2022 г. № 36. – Текст : непосредственный.

7. Чапурин, Д. А. Разгерметизация оборудования, трубопроводов фланцевых соединений вследствие физического износа, коррозии, механических повреждений, температурной деформации оборудования и трубопроводов / Д. А. Чапурин. – Текст : непосредственный // Современные технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте : сборник статей II международной студенческой конференции. – 2020. – С. 188–191.

8. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – Текст : непосредственный.

9. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – Текст : непосредственный.

10. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска аварий на опасных производственных объектах, 2001. – 28 с. – Текст : непосредственный.

11. Акимов, В. А. Надёжность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов, В. А. Пучков, В. И. Томаков, М. И. Фалеев. – Москва : [б. и.], 2002. – 592 с. – Текст : непосредственный.

12. Андреев, С. В. Система контроля электрических параметров приборов автоматики, обеспечивающая повышение их надёжности в процессе серийного производства / С. В. Андреев, А. В. Ключников, А. Г. Тимощенко. – Текст : непосредственный // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2011. – Т. 2. – С. 241–242.

13. Ицкович, Э. Л. Особенности систем автоматизации лабораторий предприятий химико-технологического типа / Э. Л. Ицкович. – Текст : непосредственный // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2010. – № 4. – С. 1–9.

14. Об утверждении особенностей работы с персоналом энергетических организаций системы жилищно-коммунального хозяйства российской федерации : Приказ Государственного комитета Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 21 июня 2000 г. № 141 (ред. от 18.04.2001). – Текст : непосредственный.

15. Дроняев, О. И. О применении метода «Анализа опасности и работоспособности» при анализе риска аварий на производственных объектах / О. И. Дроняев, В. Ф. Мартынюк. – Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 11 (275). – С. 41–47.

16. Об утверждении рекомендаций по выбору методов оценки уровней профессиональных рисков и по снижению уровней таких рисков : Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 28 декабря 2021 г. № 926. – Текст : непосредственный.

**П. П. Панков, Д. В. Бесполитов,
Н. Д. Шаванов, Н. А. Коновалова**

*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОБАВКАМИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Обоснована возможность утилизации отходов щебеночного производства в составах композиционных материалов для усиления основания земляного полотна. Современными физико-химическими методами исследования получены данные о химическом и минералогическом составе исходного минерального сырья. Установлено, что композиционные материалы на основе вторичного сырья, модифицированные высокомолекулярными соединениями, являются морозостойкими и имеют максимальную марку по прочности.

Ключевые слова: композиционные материалы, модифицирующие добавки, механизм структурообразования, усиление земляного полотна, утилизация отходов.

Повышение надежности, долговечности и безопасности объектов транспортной инфраструктуры, в т. ч. в субъектах Арктической зоны Российской Федерации, а также их адаптация к климатическим рискам является одной из приоритетных задач Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. Эффективным способом решения данной задачи является внедрение новых видов дорожно-строительных материалов для стабилизации основания земляного полотна, модифицированных добавками различной природы.

Цель работы: разработка составов композиционных материалов, модифицированных высокомолекулярными соединениями.

Сырьевые материалы: отсев дробления горных пород, вяжущее, добавка на основе высокомолекулярных соединений (ВМС). Отсев дробления: фракция 0–5 мм; 6,80 мас. % пылевидных и глинистых частиц; 0,10 мас. % примесей; 6,19 и 1,10 мас. % зерен пластинчатой и иглова-той формы, зерен слабых пород, соответственно. Насыпная плотность 1329 кг/м³. Показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K) находится в пределах нормативного значения – 105,0±15,6 Бк/кг.

Химический состав отсева, ω, %: 52,50 SiO₂; 15,49 Al₂O₃; 7,84 CaO; 5,69 Fe₂O₃; 4,01 MgO; 2,96 K₂O; 2,79 Na₂O; 0,75 TiO₂; 0,14 P₂O₅; 0,13 MnO; 7,76 – потери при прокаливании. Минералогический состав (см. Рисунок, а): доломит CaMg(CO₃)₂ (2,89; 2,19; 2,53 Å); альбит NaAlSi₃O₈ (2,01; 3,20; 4,03 Å), хлорит (Mg, Al)₆(Si, Al)₄O₁₀(OH)₈ (2,83; 3,53; 7,01 Å), кальцит CaCO₃ (2,49; 3,02; 1,87 Å), кварц SiO₂ (2,44; 3,34; 4,25 Å).

Методом инфракрасной спектроскопии выявлено наличие полос поглощения с максимумами при 1429; 879 и 780 см⁻¹, обусловленных валентными и деформационными колебаниями группы CO₃²⁻ (см. Рисунок, б). Полосы поглощения с максимумами при 3615 и 3420 см⁻¹ соответствуют валентным колебаниям связанных водородными связями OH-групп. Регистрируются полосы поглощения с максимумами при 1006 и 1028 см⁻¹, обусловленные колебаниями связи Si-O силикатов.

Базовый химический состав вяжущего, ω, мас. %: 2,55 SO₃; 3,60 MgO; 3,92 Fe₂O₃; 7,75 Al₂O₃; 28,10 SiO₂; 36,60 CaO. Минералогический состав вяжущего (см. Рисунок, в): алит Ca₃SiO₅ (3,03; 2,77; 2,74 Å), белит Ca₂SiO₄ (3,87; 2,18; 1,76 Å), портландит Ca(OH)₂ (4,92; 2,61; 1,93 Å); кварц SiO₂ (3,35; 2,11; 1,82 Å), трехкальциевый алюминат 3CaO·Al₂O₃ (2,99; 2,69; 2,43 Å). ДТГ-кривая характеризуется наличием экстремума при 680 °С, обусловленного присутствием в составе карбонатов, диссоциация которых сопровождается потерей массы 0,80 % (см. Рисунок, г).

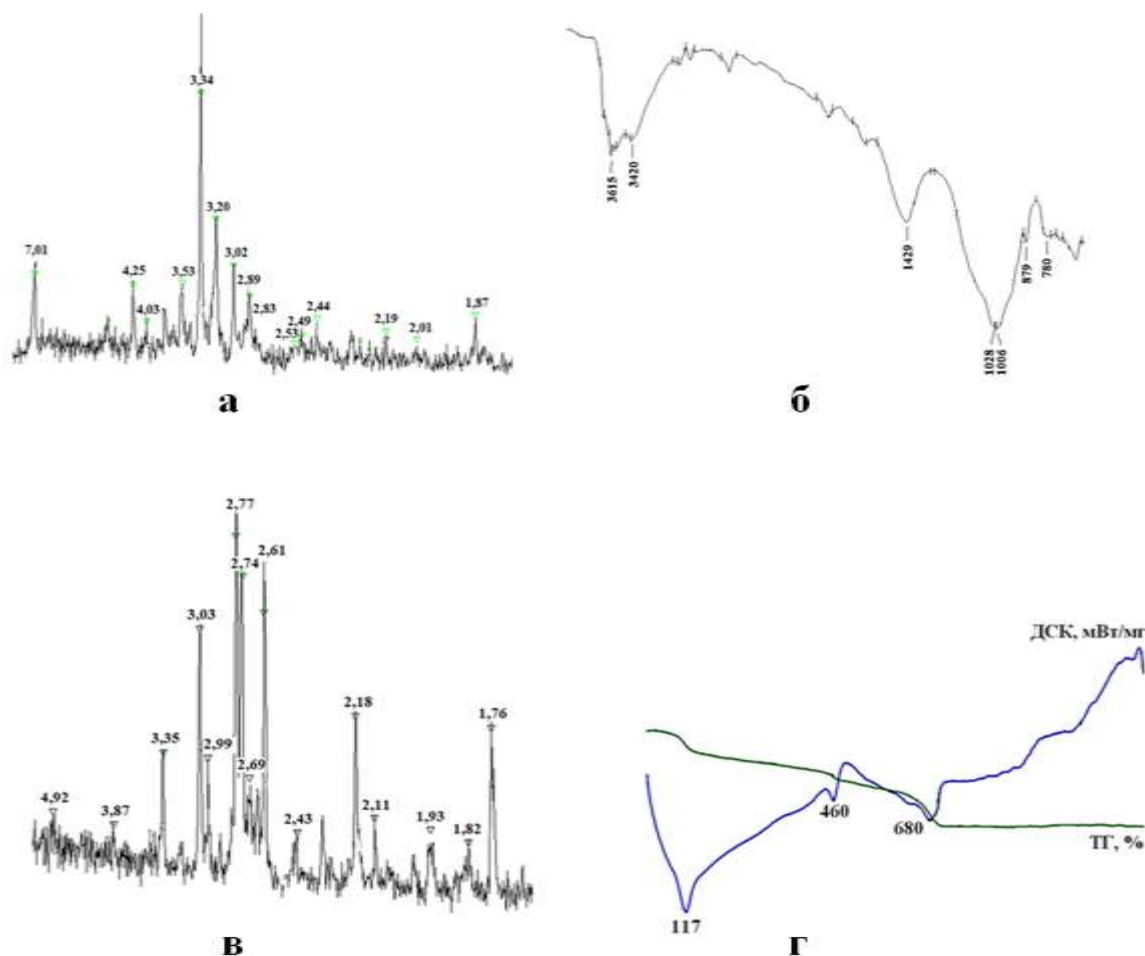


Рисунок. Дифрактограмма (а) и инфракрасный спектр (б) отсева; дифрактограмма (в) и термограмма (г) вяжущего

Изучение эксплуатационных характеристик композитов проводили на образцах, содержащих 1–10 мас. % добавки на основе ВМС (ω вяжущего 8 мас. %). Выявлено, что максимальное значение прочности при сжатии и прочности на растяжение при изгибе характерно для образцов, содержащих 10 мас. % добавки на основе ВМС – 14,3 и 12,9 МПа; 2,4 и 2,1 МПа при капиллярном и полном водонасыщении, соответственно. Марка композитов по морозостойкости не менее F25.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № PLVN-2025-0005 «Разработка способов утилизации крупнотоннажных отходов производства в составах композиционных материалов для усиления земляного полотна»

П. П. Панков, Т. А. Гороян, С. А. Евсюков
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,
г. Чита, Россия*

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ С ЦЕЛЮ УТИЛИЗАЦИИ В СОСТАВАХ КОМПОЗИТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье представлены результаты исследований химического и фазового составов, структурных особенностей, физико-химических и физических свойств золошлаковой смеси. Выявлено, что показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов составил 295 Бк/кг, что позволяет использовать данные отходы в дорожном строительстве. Золошлаковая смесь является непучинистой, по гидравлическим свойствам – инертной. Установлено, что её можно утилизировать в составах композиционных материалов в качестве инертного пористого наполнителя.

Ключевые слова: композиционные материалы, золошлаковые отходы, утилизация отходов.

В настоящее время на территории Забайкальского края при эксплуатации 5 ТЭЦ, свыше 100 отопительных и 22 технологических железнодорожных котельных накоплено свыше 8567584 тыс. т золошлаковых отходов. Вследствие урбанизации территории значительная часть золоотвалов располагается в зонах городских агломераций, что наносит непоправимый ущерб здоровью населения и окружающей среде. В связи с этим изучение состава, свойств и структурных особенностей данных отходов представляется актуальной задачей в процессе разработки способов их эффективной утилизации.

Цель работы: изучение состава, свойств и структурных особенностей золошлаковой смеси для последующей утилизации в строительной индустрии.

Золошлаковая смесь образована при сжигании углей разреза Уртуйский. Выявлено, что показатель $A_{эфф}$ (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) находится в пределах допустимых норм 295 Бк/кг. По ГОСТ 30108-94 данный отход относится к материалам 1 класса и может без ограничений использоваться в качестве минерального сырья для производства строительных материалов. Полный остаток фракции $< 0,315$ мм составил около 21 %; влажность – 0,59 %; истинная плотность – 1582 кг/м^3 ; удельная поверхность – $225 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Гидравлическую активность золошлаковой смеси устанавливали с учетом её химического состава (табл. 1). Выявлено, что гидросиликатный модуль, представляющий отношение содержания основных оксидов к кислотным, составил 0,17; силикатный модуль – 2,49. Анализ химического состава позволил установить, что по гидравлическим свойствам золошлаковая смесь относится к инертным материалам.

Данные элементного анализа свидетельствуют о наличии в пробах золошлаковой смеси токсичных компонентов, концентрации которых превышают ПДК (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав золошлаковой смеси

ω, мас. %											
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	CaO _{св}	п.п.п.
58,28	7,23	16,10	5,56	0,63	1,02	0,31	0,46	0,11	5,18	1,10	3,32

Таблица 2

**Концентрации токсичных элементов
в составе золошлаковой смеси (ЗШС)**

	Концентрация, мг/кг							
	As	S	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Pb
ЗШС	8	3120	80	14	34	45	75	24
ПДК (СанПиН 1.2.3685-21)	2	160	6	5	3	4	23	6

Выявлено, что в образцах золошлаковой смеси максимально превышены концентрации серы, хрома, меди и никеля в 19,5; 13,3; 11,3 и 11,2 раза, соответственно. Следовательно, при разработке составов композиционных материалов на основе изучаемой золошлаковой смеси необходимо установить возможные способы снижения степени токсичности.

На термограмме золошлаковой смеси (рис. 1, а) выявлена максимальная скорость потери веса при 90 °С с последующим снижением при 350 °С и потерей веса 0,9 %. Выгорание углеводородных фрагментов также сопровождается потерей веса на ТГ-кривых. Экзотермический эффект при 464 °С с потерей веса 1,2 % вызван окислением углерода. Низкотемпературные эндотермические эффекты при 138 °С свидетельствуют о присутствии в пробах золошлаковой смеси незначительного количества глинистых минералов. Эндотермический эффект при 573 °С обусловлен полиморфным превращением кварца. Общая потеря массы при 897 °С составила 5 %. Присутствие в золошлаковой смеси органиче-

ских соединений (угля, полукоксовых и коксовых остатков) подтверждается методом инфракрасной спектроскопии (рис. 1, б).

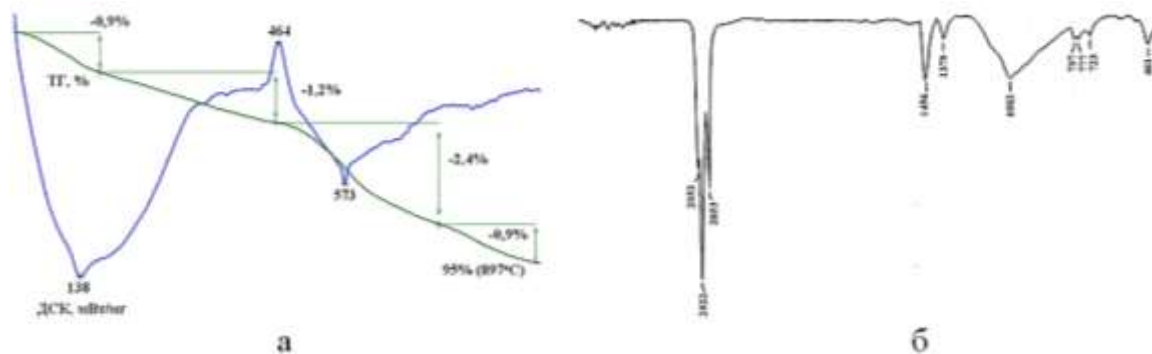


Рис. 1. Термограмма (а) и ИК-спектр (б) золошлаковой смеси

Регистрируются интенсивные полосы поглощения в области $2955\text{--}2850\text{ см}^{-1}$, обусловленные симметричными валентными колебаниями метильных и метиленовых групп C-H_x углеводородных фрагментов.

Данные рентгенофазового анализа свидетельствуют, что в состав золошлаковой смеси (рис. 2, а) входят: кварц SiO_2 (4,25; 3,34; 1,37 Å), анортит $\text{Na}_{0.25}\text{Ca}_{0.75}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ (3,20; 2,94; 2,50 Å), микроклин KAlSi_3O_8 (3,22; 2,16; 1,80 Å), хлорит $(\text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (7,02; 3,53; 1,53 Å), мусковит $\text{KAl}_2[\text{OH}]_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ (10,00; 2,56; 1,50 Å).

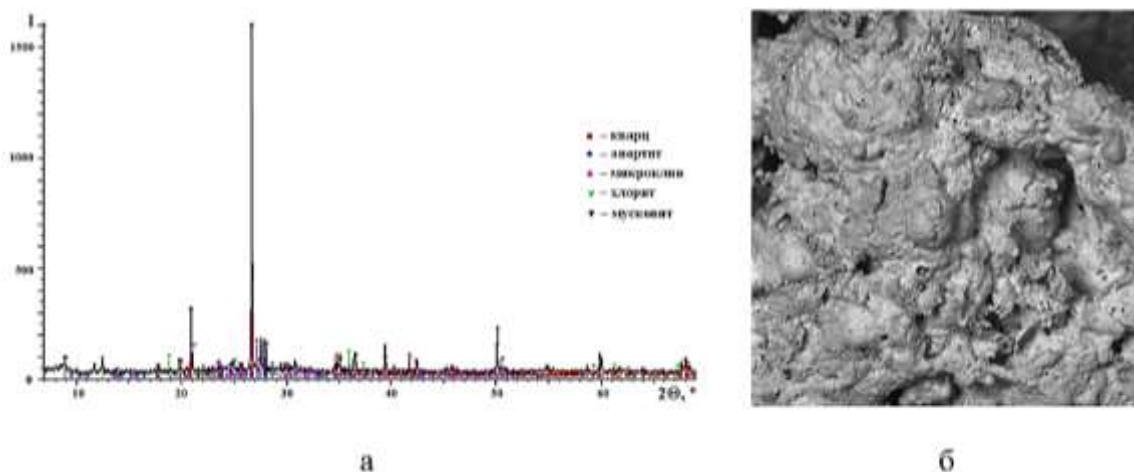


Рис. 2. Дифрактограмма (а) и микрофотография СЭМ (б) золошлаковой смеси

Особенности микроструктуры изучены методом сканирующей электронной микроскопии (рис. 2, б). Для частиц характерна неоднородная полидисперсная структура, содержащая непроплавленные фрагменты. Размер частиц, имеющих форму многогранников и сфероидов с за-

крепленными в расплаве мелкими фракциями, составляет в среднем 2,05–321,31 мкм.

Выводы. Золошлаковая смесь характеризуется разнородным поровым пространством, содержащим мелко- и крупнопористые области, что может способствовать улучшению теплофизических свойств композиционных материалов. Выявлено, что по гидравлическим свойствам золошлаковая смесь является инертным материалом и не может выполнять функцию вяжущего. Следовательно, возможна её утилизация в составах композиционных материалов исключительно в качестве инертного минерального наполнителя.

*М. О. Позняк, Ю. О. Рощин, А. В. Харламова
Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

ГЕЙМИФИКАЦИЯ КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Исследованы различные формы обучения по охране труда на производстве с применением игропрактик для повышения уровня культуры безопасности. Рассмотрены виды внедрения игропрактик в процесс обучения по охране труда. Раскрыты возможности геймификации как инструмента формирования культуры безопасности на производстве. Обоснована эффективность внедрения игропрактик в традиционные способы обучения безопасным методам и приёмам выполнения работ.

Ключевые слова: геймификация, охрана труда, безопасность, игра, корпоративная валюта, культура безопасности.

Введение. В настоящее время многие предприятия сталкиваются с проблемой увеличения уровня травматизма, хотя все предписанные меры по снижению количества инцидентов выполняются. Из-за этого специалисты по охране труда начали обращаться к понятию «культура безопасности», поскольку она предполагает не просто выполнение требований законодательства, а является системой ценностей и моделей поведения, в том случае, когда безопасность становится осознанной ответственностью каждого сотрудника.

Определение понятию «культура безопасности» дано в документе Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) INSAG-4 и определяется как совокупность характеристик отношения к делу и поведения людей, организаций и учреждений, посредством которых устанавливается, что в качестве важнейшего приоритета вопросам защиты и безопасности уделяется внимание, соответствующее их значимости [1].

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации № 2464, обучение по охране труда является обязательным для широкого круга лиц, включая руководителей, специалистов и работников, чья деятельность связана с потенциальными рисками для здоровья и безопасности. Обучение должно проводиться не реже одного раза в три года для всех работников, а для руководителей и специалистов не реже одного раза в три года с момента последнего обучения, продолжительность которого составляет от 14 до 40 часов в зависимости от категории обучения и специализации работников [2].

Это требование показывает необходимость качественного обучения, что напрямую влияет на безопасность на производстве. Учитывая вышесказанное, вопрос об обучении остаётся актуальным и требует особого внимания и улучшения методов обучения для того, чтобы обеспечить компетентность работников.

Минтруд России предложил новый проект профессионального стандарта «Специалист в области охраны труда». Планируется изменение трудовых функций с учетом стратегического управления профессиональными рисками и культурой безопасности. На данный момент нормативно-правовые акты (НПА), затрагивающие аспекты культуры безопасности отсутствуют, однако изменение профстандарта повлечет за собой принятие и внесение ряда изменений в действующие НПА по данному вопросу. В связи с чем является важным на данном этапе рассмотреть действия и мероприятия, которые позволят обеспечить высокий уровень развития безопасной рабочей среды. Одним из современных способов управления культурой безопасности является максимальная вовлеченность сотрудников в процесс обеспечения безопасности на рабочих местах, чему может способствовать внедрение геймификации в процесс обучения по охране труда.

Рядом авторов исследовались вопросы геймификации профессиональной деятельности, применения в современном педагогическом образовании, разрабатывались атласы практик для современных организаций [3–6]. Однако аспектам использования геймификации как способа формирования культуры безопасности на производстве уделено недо-

статочное внимание, поэтому актуальность изучения данного вопроса не вызывает сомнений.

Целью данной работы являлось исследование возможности геймификации для формирования высокого уровня культуры безопасности на производстве и увеличения вовлеченности сотрудников в процесс обучения по охране труда.

В настоящее время существуют много способов разнообразить обучение по охране труда, сделать его более легким, интересным, понятным для сотрудников. Одним из таких способов является введение геймификации в процесс обучения. С самого детства мы сталкиваемся с проблемой сложности восприятия нового материала и знаний. Для облегчения процесса обучения взрослого населения в рамках охраны труда и снижения стресса представляет интерес введения в программу обучения различных интерактивных заданий и практик, что показывается на Рисунке [7].



Рисунок. Пирамида обучения Эдгара Дейла

Исследования подтверждают, что геймификация действительно способствует повышению мотивации и активного вовлечения сотрудников в процессы обеспечения безопасности на рабочем месте. Использование игровых элементов, таких как соревнования, награды и обучающие игры, делает обучение более интерактивным и увлекательным, что приводит к улучшению усвоения материала и увеличению осознанности о рисках [3, 7].

Рассмотрим возможные вариации игровых форматов для включения в программу обучения по охране труда:

- безопасная среда, где можно смоделировать разные чрезвычайные ситуации на предприятии;
- персонажи, сами участники игры без имен или под вымышленными именами, таким образом можно снять ответственность за неправильное действие или решение в игре;
- краткое изложение информации, что помогает сэкономить время, а также снижается сложность восприятия;
- визуализация, помогающая в восприятии информации, а также создании интереса, любопытства к игре;
- эмоции, помогающие легче изучить и закрепить пройденный материал, а также через эмоции материал запоминается лучше.

Таким образом преимуществом геймификации являются снижение напряжения с аудитории, упрощение материала к восприятию, уравнивание всех участников вне зависимости от должности, повышение мотивации к изучению нового материала.

Геймификацию также можно использовать в таких форматах обучения как лекции, тренинги и мастер-классы.

На практике было рассмотрено две игры по охране труда «Осторожно, склад!» и «Знаки безопасности».

«Осторожно, склад!» – карточная игра, основанная на изучении правил безопасной работы на территории складских комплексов разного типа. В игре могут участвовать до 6 человек, которым определяются игровые роли такие как руководитель, специалист по охране труда, водитель погрузчика, кладовщик и два комплектовщика. В процессе игры игроки отвечают на вопросы или выполняют задания. Вопросы в игре затрагивают темы правильного хранения товара, оценки рисков, предотвращения потенциально опасных действий, оказания первой помощи и правильного применения средств индивидуальной защиты.

Данная игра может использоваться для обучения как рядовых сотрудников во время тренингов по культуре безопасности, так и руководителей. Также внутри предприятия можно устраивать турниры среди разных подразделений, что может повышать мотивацию участия и победы в игре.

Игра «Знаки безопасности» представляет собой карточную игру. Смысл заключается в том, чтобы быстро и правильно назвать знак безопасности, размещенный на карточке. Формат данной игры способствует быстрому запоминанию знаков безопасности и их наименований,

кроме того, игроки могут соревноваться между собой в свободное время, а также игра подходит для тренингов и обучений.

Игропрактики также могут вводиться в виде интерактивного обучения по теме «оказание первой помощи». Например, возможно введение игр с погружением в реальные ситуации с нанесением грима, воссозданием различных травм, где сначала сотрудникам рассказывают в теории как правильно оказывать первую помощь, а затем работники сами отрабатывают полученные навыки под наблюдением специалистов и инструкторов. Также возможно применение VR-технологии для погружения сотрудников в чрезвычайные ситуации для отработки разных навыков и действий при пожаре. Такие игропрактики помогают понять, устойчивость сотрудника в условиях экстренных ситуаций и показать, насколько важно отходить от привычных форм инструктажей и лекций. Однако следует учитывать, что невозможно полностью воссоздать реальную опасность, поэтому полностью полагаться на новейшие технологии невозможно.

К методам реализации процесса геймификации в охране труда относятся не только обучающие игры и симуляторы, но и корпоративная валюта. Корпоративная валюта – это виртуальные или реальные деньги, которые компания может выдавать сотрудникам за выполнение определенных задач или достижений. Использование корпоративной валюты как стимула для выполнения задач и достижения определенных результатов в области охраны труда может быть эффективным способом привлечения внимания сотрудников к этой проблеме и стимулирования их к более активному участию в процессах безопасности [4].

Выводы. В статье были рассмотрены возможные варианты внедрения в обучение по охране труда элементов геймификации и игропрактик, которые могут использоваться для облегчения восприятия материала сотрудниками производства, а также отработки на практике различных методов и действий в условиях чрезвычайных ситуаций, что может являться более эффективным методом обучения, чем материал в формате лекций или инструктажей.

Библиографический список

1. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). Культура безопасности // Серия отчетов МАГАТЭ по безопасности № 75. – Вена : МАГАТЭ, 2018. – 65 с. – Текст : непосредственный.
2. Постановление от 24 декабря 2021 г. № 2464 «О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда». –

URL : <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=442665> (дата обращения: 21.10.2025). – Текст : непосредственный.

3. Геймификация в современном педагогическом образовании: атлас лучших практик : электронное издание сетевого распространения, Новосибирск, 02–03 ноября 2021 г. – Новосибирск : Новосибирский государственный педагогический университет, 2021. – 152 с. – ISBN 978-5-6041902-2-7. – EDN ULDAOW. – Текст : непосредственный.

4. Козина, Е. С. Геймификация профессиональной деятельности как эффективный инструмент мотивации персонала современной организации / Е. С. Козина. – Текст : непосредственный // Современные проблемы науки и образования. 2015. – № 2. – С. 98–114.

5. Ахтямов, Р. Г. Современные технологии защиты объектов транспортной инфраструктуры на основе моделирования опасных ситуаций / Р. Г. Ахтямов, С. Г. Аксенов, Д. А. Тараканов, Д. А. Тараканов. – Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 10 (214). – С. 23–28.

6. Ахтямов, Р. Г. Проблемы и перспективы обеспечения техносферной безопасности на железнодорожном транспорте / Р. Г. Ахтямов. – Текст : непосредственный // Доклады Башкирского университета. – 2017. – Т. 2. – № 3. – С. 433–437.

7. Стрелявская, П. В. Современные методы обучения сотрудников на предприятии / П. В. Стрелявская, Г. М. Шигабетдинова. – Текст : непосредственный // Вестник УлГТУ. – 2/2019. – С. 7-8.

Е. А. Руш, Т. С. Рыжкина

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

Д. С. Иванова

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия
Институт земной коры СО РАН,
г. Иркутск, Россия*

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В Г. СЛЮДЯНКА

Проблема сохранения уникальных экосистем в условиях растущего антропогенного прессинга является одной из наиболее значимых в со-

временных экологических исследованиях. Особую остроту она приобретает на территориях, имеющих статус объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, к которым относится озеро Байкал и прилегающие к нему природные комплексы. Важнейшим компонентом этих экосистем, чутко реагирующим на любое внешнее воздействие, является почвенный покров, выполняющий функции аккумуляции и миграции загрязняющих веществ из сопряжённых сред.

Следует отметить, что довольно значимую антропогенную нагрузку на объекты окружающей среды Байкальского региона оказывает Транссибирская магистраль, проходящая в непосредственной близости от береговой линии озера Байкал. Железнодорожный транспорт выступает постоянным источником негативного химического и физического воздействия, обусловленного эксплуатацией полотна, подвижного состава и объектов инфраструктуры. Поступление в почвы токсичных соединений, в т. ч. тяжёлых металлов, ухудшает качество земель, запускает процессы миграции загрязнений в водные объекты, создавая прямую угрозу для экосистемы озера Байкал.

В связи с этим, определена цель настоящего исследования – проведение оценки воздействия на окружающую среду объектов железнодорожного транспорта и эколого-геохимического состояния почвенного покрова в районе города Слюдянка. Для первичного выявления степени загрязнения исследования проводились на ключевом участке от реки Похабиха до остановки «Шаманка» с отбором проб почвы и последующим определением в них содержания микроэлементов I–III классов опасности (As, Hg, Pb, Zn, F, Co, Ni, Cu, Cr, Ba, V, Mn, Sr) методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в ИЗК СО РАН.

Ключевые слова: оценка воздействия на окружающую среду, тяжёлые металлы, рентгенофлуоресцентный анализ, почвы, железнодорожный транспорт, токсичные элементы.

Введение

Железные дороги представляют собой один из ключевых элементов транспортной инфраструктуры, обеспечивая передвижение людей и грузов на дальние расстояния. ОАО «РЖД» входит в число десяти крупнейших в мире и трех крупнейших в Европе транспортных компаний по пассажирообороту и относится к наиболее эффективным железнодорожным компаниям по основным показателям эффективности: удельной энергоемкости перевозок, интенсивности использования инфраструктуры, производительности локомотива и себестоимости перевозок.

Однако значительная часть этих магистралей проходит через особо охраняемые Байкальскую природную территорию (БПТ), что вызывает необходимость тщательной оценки их воздействия на экосистемы. Несмотря на очевидные преимущества, которые предоставляет железнодорожный транспорт, он также оказывает негативное воздействие на окружающую среду (ОС), как и производственные предприятия различных отраслевых комплексов России.

Для выявления источников и уровней негативного воздействия крайне важно проводить экологические мониторинговые исследования состояния окружающей среды. Именно результаты мониторинговых исследований целесообразно использовать для создания банка данных, необходимого для построения экологического прогноза.

Представленная исследовательская работа направлена на сбор и анализ проб почвы с целью выявления содержания тяжелых металлов, их предельных значений.

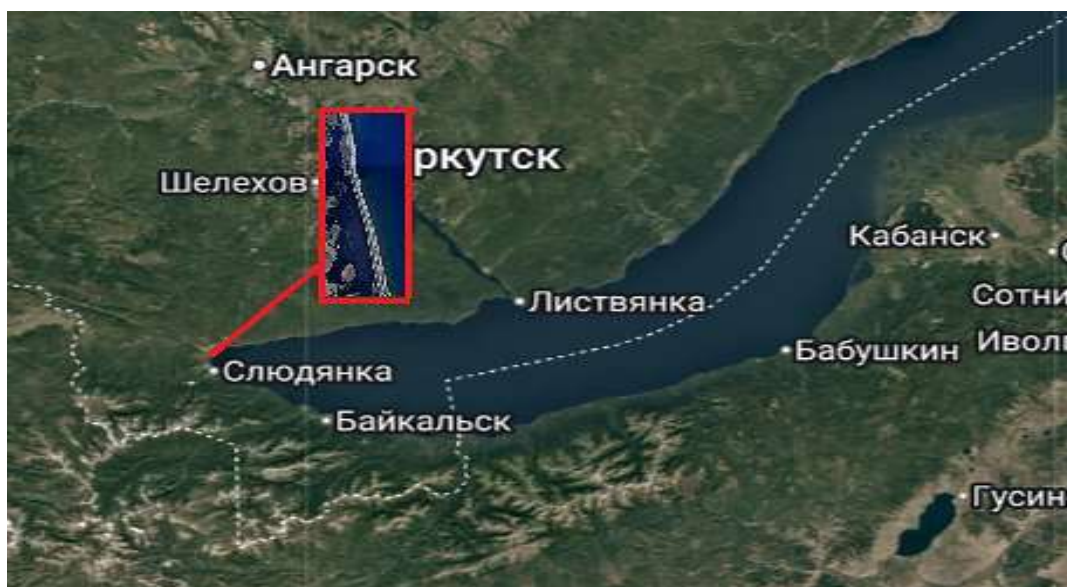


Рис. 1. Образная карта района исследования

Методы и объекты исследования

Город Слюдянка расположен на берегу озера Байкал, в самой южной его оконечности. Прибрежная часть города составляет около 6 км, начиная от мыса Шаманский и заканчивая в Парке «Железнодорожник». Неподалеку от мыса Шаманский находятся Слюдянские озера площадью 79,56 га, памятник природы регионального значения. Город Слюдянка расположен рядом с подножием горы Хамар-Дабан на равнинном

плато, образованном устьем горных рек Слюдянки и Похабихи. На рис. 2 показан общий вид ключевого участка.

Таловские озера выбраны в качестве памятника природы на основе ранее проведенных экологических исследований, которые показали важность защиты не только фауны, но и флоры региона. Необходимую работу для этого провело Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области [1].

Проект реализован по инициативе Иркутского отделения Всероссийского общества охраны природы при финансовой поддержке ОАО «РЖД». Работа проведена в рамках исполнения Плана дополнительных мер, направленных на охрану окружающей среды в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории при строительстве, реконструкции объектов инфраструктуры, необходимых для увеличения пропускной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей [1].

В ходе пробоотбора было взято 6 образцов почвы на участке ВСЖД проходящей между озером Байкал и озером Слюдянское. Протяженность участка 1,6 км. В табл. 1 отображены координаты точек отбора проб, на рис. 2 схематично показаны точки отбора.

Таблица 1

Координаты точек отбора проб

Наименование точки пробы	Координаты
KS-2024-P1	N 51.672506, E 103.709028
KS-2024-P2	N 51.671812, E 103.709511
KS-2024-P3	N 51.674954, E 103.706657
KS-2024-P4	N 51.675238, E 103.707338
KS-2024-P5	N 51.681216, E 103.704204
KS-2024-P6	N 51.685995, E 103.701828

Отбор образцов проводили маршрутным методом в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. Протяженность трансекта составила 1,6 км. Предварительно была заложена площадка 1×1 м, образцы почв отбирались методом «конверта». Для контроля загрязнения поверхностно распределяющимися токсичными веществами точечные образцы почв массой 200 г отбирали с глубины до 20 см.



Рис. 2. Карта с точками отбора проб

В работе использованы сведения о коренных породах из «Карты полезных ископаемых СССР» масштаба 1:200000, монографии Гребенщиковой В.И. с соавторами и работы Виноградова А.П. [2, 3].

Подготовка проб для анализа представляет собой критически важный этап, который существенно влияет на точность и надежность получаемых результатов. Она включает в себя сохранение целостности проб, что позволяет минимизировать изменения в их составе, вызванные воздействием внешней среды, а также устранение загрязнений, достигаемое с помощью использования чистых и специализированных контейнеров. Подготовка проб должна соответствовать установленным методикам и стандартам, что обеспечивает сопоставимость результатов и предотвращает ошибки в интерпретации данных. Кроме того, правильная подготовка упрощает последующий анализ, повышая его эффективность. Ведение точной документации о процессе подготовки также способствует обеспечению прослеживаемости и повторяемости исследований, что является важным аспектом научной работы.

Проба помещается в кювету до краев, затем прессуется и накрывается лавсановой пленкой, которая прижимается к кювете с помощью прижимного кольца. После этого с использованием переходника кювета устанавливается в обойму.

При проведении количественного анализа рекомендуется использовать порошковые пробы в таблетированном виде. Для этого пробу необходимо тщательно истереть до состояния пудры, при этом фракция частиц размером до 70 мкм должна составлять не менее 95 %. Затем из полученной пудры формируются таблетки на гидравлическом прессе при давлении не более 7000 кг.

Если таблетка рассыпается, ее формирование осуществляется на подложке из сухой борной кислоты. Для этого в гидравлический пресс помещается порошок борной кислоты (не более чайной ложки), который прессуется для получения подложки таблетки под давлением 2000 кг. Затем в сформированную подложку засыпается порошковая проба и прессуется под давлением 7000 кг. После этого таблетка устанавливается в обойму с использованием переходника.

К лабораторным методам относится подготовка проб к элементному анализу, состоящая из следующих шагов: высушивание образцов в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния; просеивание через крупное сито (размер ячейки – 0.25 мм) для удаления органических и каменистых включений; измельчение образцов массой по 50 г каждый в агатовой ступке до состояния мелкой фракции 0.1 мм; взятие навески порошка мелкой фракции массой один грамм для определения легких компонентов (F, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, W) и 5 г – для тяжелых (Sr, Pb, As, Ba) [4]. Затем навеску порошка пробы массой 5 г смешивали со связующим веществом в пропорции 5:1 для получения насыщенного слоя. Излучатели готовили путем прессования таблеток на подложке из борной кислоты диаметром 40 мм при помощи полуавтоматического прессы HERZOG НТР 40 (Германия) при усилии в 100 кН.

Результаты и обсуждения

Расчет концентраций определяемых элементов проводили с применением программного обеспечения SPECTRA^{plus} и разработанной ранее авторской методики [5].

Коэффициент опасности (K_o) исследуемых веществ вычисляется отношением фактического уровня вещества в почве (C_i) к его предельно допустимой концентрации (ПДК) по формуле (1):

$$K_o = \frac{C_i}{\text{ПДК}} . \quad (1)$$

Опасность загрязнения тем выше, чем больше значения K_o превышают 1.

Коэффициент концентрации химического элемента (K_c) рассчитывается по соотношению реального содержания загрязнителя в почве (C) к его фоновому уровню (C_{ϕ}) по формуле (2):

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi}}. \quad (2)$$

Данный коэффициент отображает распространенность химического элемента в пространстве.

Таблица 2

**Критерии оценки степени загрязнения почв
неорганическими веществами [6]**

Содержание в почве (мг/кг)	Категория загрязнения почвы		
Класс опасности вещества	1 класс	2 класс	3 класс
$> K_{\max}$	Очень сильная	Очень сильная	Сильная
От ПДК до $K_{\max}$	Очень сильная	Сильная	Средняя
От 2 фоновых значений до ПДК	Слабая	Слабая	Слабая

Коэффициент концентрации был использован для расчета суммарного показателя загрязнения почв (Z_c) [7], применяемого при санитарно-гигиенической оценке загрязнения почвенного покрова территории. Данный показатель определяется по формуле (3):

$$Z_c = (\sum_{i=1}^n K_c) - (n - 1), \quad (3)$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента;

n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Таблица 3

**Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв
по суммарному показателю загрязнения [6]**

Категории загрязнения почв	Величина	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений

Окончание табл. 3

Категории загрязнения почв	Величина	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Умеренно опасная	16–32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32–128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечнососудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин

Для оценки эколого-токсикологического состояния почвенного покрова участка Слюдянского участка Восточно-Сибирской железной дороги в качестве индикаторов использовали микроэлементы, относящиеся к I–III классам опасности: As, Pb, Zn, (высокоопасные), Co, Ni, Cu, Cr (умеренно опасные), Ba, V, W, Sr (малоопасные) [8]. Нормативной базой для оценки состояния загрязнения почв по содержанию элементов служили значения региональных фонов и кларков, предельно допустимые концентрации (ПДК) [4]. Полученные средние содержания элементов, их диапазоны, а также значения регионального фона, кларка, ПДК представлены в табл. 2.

Таблица 4

**Классы опасности, ПДК и фоновые значения ТМ
в отобранных образцах почв, мг/кг**

Элемент	Среднее / (min-max) содержание	ПДК	Кларк по А.П. Виноградову*	Региональный фон
I класс (высокоопасные)				
Zn	58 / (28-106)	55	71	109
Pb	25 / (16-31)	32	17	17
As	3 / (3-6)	2	1,5	2,5
II класс (умеренно опасные)				
Cr	54 / (23-111)	6	35	101
Co	12 / (2-29)	5	10	19
Ni	24 / (9-36)	20	20	46
Cu	19 / (11-36)	33	25	44
III класс (малоопасные)				
V	72 / (30-143)	150	60	171
Sr	303 / (197-383)	458	320	237
Ba	796 / (591-1055)	500	550	-

Примечание. *Кларки по А. П. Виноградову – это среднее содержание элементов в земной коре, выраженное в весовых процентах [1].

Значения коэффициента опасности (K_o), коэффициента концентрации (K_c) и суммарного показателя загрязнения (Z_c) для почвенного покрова Слюдянского участка ВСЖД представлены в табл. 3.

Таблица 5

Значения коэффициента опасности (K_o), коэффициента концентрации (K_c) и суммарного показателя загрязнения (Z_c)

Элемент	Коэффициент концентрации (K_c)	Коэффициент опасности (K_o)	Суммарный показатель загрязнения (Z_c)
Zn	0,53	1,05	Допустимый
Pb	1,46	0,78	
As	1,32	1,65	
Cr	0,54	9,05	
Co	0,65	2,45	
Ni	0,53	1,21	
Cu	0,44	0,58	
V	0,42	0,48	
Sr	1,28	0,66	
Ba	-	1,59	

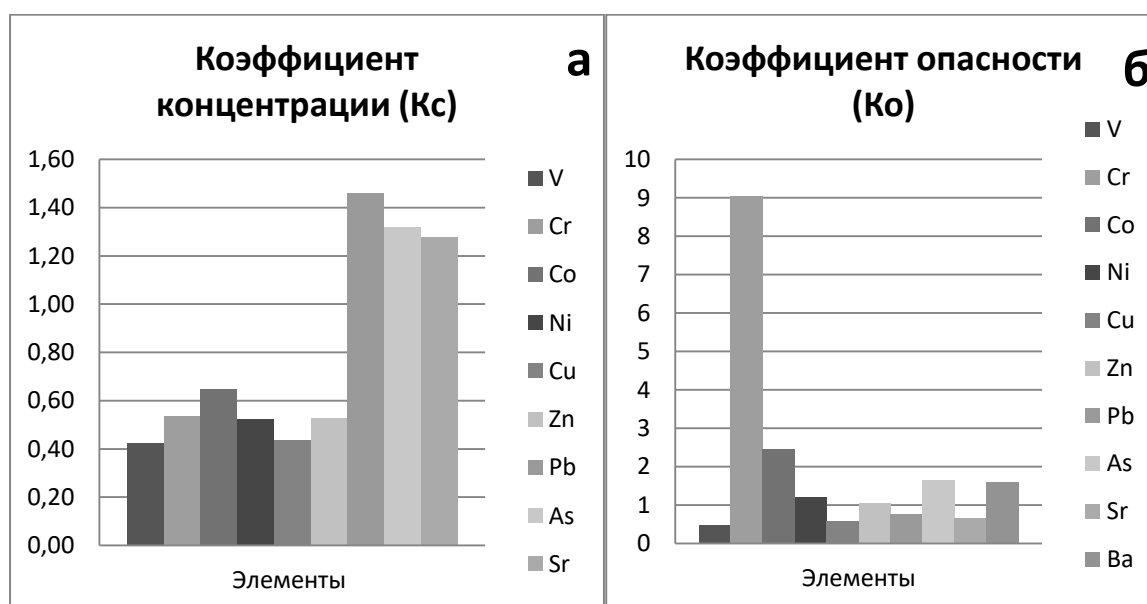


Рис. 3. Гистограммы коэффициента концентрации (а) и коэффициента опасности (б)

Анализ полученных данных позволил выявить повышенное содержание ряда элементов в почве вблизи железнодорожного полотна, по сравнению с региональным фоном. Наиболее значимые отклонения зафиксированы у мышьяка (As), свинца (Pb), стронция (Sr) и бария (Ba) (табл. 4).

Диапазон валового содержания стронция (Sr) в почвах исследуемого участка составляет от 197 до 383 мг/кг, при среднем значении 303 мг/кг, что превышает региональный геохимический фон на 27,8%. Коэффициент концентрации ($K_c = 1,28$) свидетельствует о незначительном обогащении верхнего горизонта почв. Несмотря на превышение фонового уровня, установленное содержание стронция не выходит за пределы допустимых значений.

Значение валового содержания мышьяка (As) составило 3 мг/кг при диапазоне от 3 до 6 мг/кг, что на 0,5 превышает региональный геохимический фон. Коэффициент концентрации ($K_c = 1,32$) и коэффициент опасности ($K_o = 1,65$) свидетельствуют о выраженном накоплении мышьяка в поверхностных слоях.

Среднее валовое содержание свинца (Pb) составляет 25 мг/кг при диапазоне от 16 до 31 мг/кг, что на 8 единиц превышает региональный фон. Коэффициент концентрации ($K_c = 1,46$) и коэффициент опасности ($K_o = 0,78$) свидетельствуют о незначительном обогащении верхнего почвенного слоя.

Для бария (Ba) региональное фоновое значение отсутствует. В природных условиях барий преимущественно присутствует в виде нерастворимых соединений – сульфата бария (барит, $BaSO_4$) и карбоната (витерит, $BaCO_3$), которые, в свою очередь, отличаются низкой подвижностью и ограниченной биодоступностью в почвенно-геохимических условиях, что способствует накоплению бария в верхних горизонтах [16].

Содержание остальных выявленных элементов на Слюдянском участке Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) в почве находятся ниже регионального геохимического фона.

Содержание хрома (Cr) в пробах почв превышает ПДК в 9 раз. Установлено, что коэффициент концентрации (K_c) хрома выше нормы в 9 раз. Хром рассеивается при сжигании минерального топлива, постепенно накапливаясь в грунте. Это, возможно, связано с процессами сжигания угля.

Установленное нами содержание кобальта (Co) в почве составляет в среднем 12 мг/кг, что превышает ПДК в 2,4 раза, коэффициент опасности – 2,45, что, возможно, связано с величиной природной концентрации кобальта в почве.

Заключение

На основе проведённого эколого-геохимического исследования почвенного покрова вблизи железнодорожной инфраструктуры в г. Слюдянка выявлены локальные загрязнения почв рядом с железнодорожными путями. Наиболее значимые превышения регионального фона зафиксиро-

рованы для мышьяка (As), свинца (Pb), стронция (Sr) и бария (Ba). При этом содержание свинца и стронция остаётся в пределах допустимых норм, однако мышьяк демонстрирует выраженное накопление в поверхностных слоях почвы.

Наибольшую опасность представляют хром (Cr) и кобальт (Co). Содержание хрома в пробах превышает ПДК в 9 раз ($K_o = 9,05$), что свидетельствует о сильной степени загрязнения. Содержание кобальта также превышает допустимый уровень в 2,4 раза ($K_o = 2,45$). Основными источниками возможного поступления этих элементов в окружающую среду могут быть процессы сжигания органического топлива (угля) и износ подвижного состава.

Суммарный показатель загрязнения (Zc) для исследуемой территории остаётся на допустимом уровне, что указывает на отсутствие катастрофического накопления поллютантов. Однако локальные превышения по отдельным элементам требуют особого внимания.

Железнодорожный транспорт является значимым источником поступления токсичных элементов в почвы, особенно в условиях близости к уникальному природному объекту – озеру Байкал, что вызывает необходимость проведения постоянного экологического мониторинга и разработки эффективных природоохранных мероприятий для минимизации негативного воздействия.

Библиографический список

1. Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области. – URL : <https://irkobl.ru/sites/ecology/3670182/> – Текст : электронный.
2. Гребенщикова, В. И. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В. И. Гребенщикова [и др.]. – Текст : непосредственный. – Новосибирск : Гео. – 2008.
3. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – Москва : Издательство АН СССР, 1957. – С. 237. – Текст : непосредственный.
4. Кудина, Е. Ф. Химические свойства металлов и неметаллов / Е. Ф. Кудина, О. А. Ермолович. – 2021. – Текст : непосредственный.
5. SPECTRAplus : программное обеспечение для рентген. спектрометров. Версия 2.2.3.1. – Карлсруэ : Bruker AXS GmbH, 2010. – 495 с. – Текст : непосредственный.
6. МУ 2.1.7.730-99. Дата введения 1999-04-05. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест. – Текст : непосредственный.
7. Саёт, Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саёт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин, Р. С. Смирнова, И. Л. Башаркевич, Т. Л. Онищенко,

Л. Н. Павлова, Н. Я. Трефилова, А. И. Ачкасов, С. Ш. Саркисян. – Москва : Недра, 1990. – 335 с. – Текст : непосредственный.

8. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) – ст. 30. – Текст : непосредственный.

9. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания». – Текст : непосредственный.

10. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025). – ст. 63.1. – Текст : непосредственный.

11. Федеральный закон от 01.09.1999 № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал». – Текст : непосредственный.

12. Кузнецов, П. В. Формы нахождения металлов в некоторых почвах окрестностей с. Утулик (южный берег оз. Байкал) / П. В. Кузнецов, Е. В. Чупарина, В. М. Чубаров // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем. – 2021. – С. 281-285. – Текст : непосредственный.

13. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – Москва : Стандартинформ, 2008. – Текст : непосредственный.

14. Официальный сайт города Слюдянка : природные объекты. – URL : <https://www.gorod-sludyanka.ru/page/rubrics-914>. – Текст : электронный.

А. С. Самойлова, Д. Р. Шанина

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
г. Иркутск, Россия*

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ НОВО-ИРКУТСКОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В АТМОСФЕРУ

Статья посвящена комплексному исследованию и систематизации инженерных методов, направленных на снижение вредных выбросов в атмосферу Ново-Иркутской теплоэлектростанции, что является ключевым аспектом экологической безопасности региона. Проведён анализ влияния выбросов теплоэлектростанции на здоровье населения и окружающую среду, оценено современное состояние проблемы загрязнения атмосферного воздуха в Иркутской области, рассмотрена нор-

мативно-правовая база, направленная на регулирование уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: инженерные методы, экологическая безопасность, диоксид серы, диоксид азота, твердые частицы, здоровье населения, окружающая среда.

Негативное воздействие на загрязнение атмосферного воздуха в Иркутской области обусловлено негативным влиянием стационарных источников, предприятий металлургической промышленности производство алюминия в городах Шелехов, Братск и химической промышленности лесопромышленный комплекс в г. Братске, а также природных явлений возгорание торфяников, лесные пожары. Дополнительно на загрязнение атмосферного воздуха влияют транспортные средства и небольшие, но многочисленные промышленные и другие объекты, эксплуатирующие наземные и низкие источники выбросов, а также сжигание отходов лесопиления предприятиями по распилке леса [1].

Главным источником загрязнения атмосферного воздуха в Иркутской области является Ново-Иркутская теплоэлектростанция, деятельность которой негативно влияет на здоровье населения области и окружающую среду. Продукты сгорания органического топлива (угля) на ТЭС содержат загрязняющие вещества 1,2 и 3 классов опасности.

По данным федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области» основными загрязнителями атмосферного воздуха Иркутской области в 2024 г. по результатам социально-гигиенического мониторинга являлись: азота диоксид бенз(а)пирен, гидроксibenзол, взвешенные частицы, формальдегид, диметилбензол.

Таблица 1

Уровни загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами за 2024 г. [1]

Наименование загрязняющего вещества	1,1–2,0 ПДК	2,1–5,0 ПДК	>5,1 ПДК
Азота диоксид	г. Ангарск		
Взвешенные вещества	г. Иркутск, г. Братск	г. Иркутск	
Гидроксibenзол	г. Братск, г. Шелехов		
Формальдегид	г. Братск	г. Братск	
Бенз(а)пирен	г. Братск, г. Иркутск	г. Братск, г. Иркутск	г. Братск, г. Иркутск
Диметилбензол	г. Иркутск	г. Иркутск	
Дигидросульфид	г. Братск		

Окончание табл. 1

Наименование загрязняющего вещества	1,1–2,0 ПДК	2,1–5,0 ПДК	>5,1 ПДК
Сера диоксид	г. Иркутск		
Пропан-1-ол	г. Братск	г. Братск	
Гидрофторид	г. Братск		
Углерод	г. Зима		
Углерода оксид	г. Иркутск		
Тетрахлорэтилен	г. Иркутск	г. Иркутск	

Ново-Иркутская ТЭС обеспечивает половину всех антропогенных выбросов загрязняющих веществ в регионе, влияя на экологическую обстановку. Сжигание топлива – не только основной источник энергии, но и важнейший поставщик в среду загрязняющих веществ. Тепловые электростанции в наибольшей степени «ответственны» за усиливающийся парниковый эффект и выпадение кислотных осадков. Они, вместе с транспортом, поставляют в атмосферу основную долю техногенного углерода (в основном в виде CO_2), около 50 % – двуокиси серы, 35 % – окислов азота и около 35 % пыли.

От непомерно нарастающей концентрации двуокиси углерода озоновый слой нашей планеты разрушается. В свою очередь разрушение озонового слоя приводит к повышению радиационного фона Земли. Кроме того, меняется и климат нашей планеты, активно тают ледники, увеличиваются температурные показатели. Причина этому – парниковый эффект, который возникает в результате разрушения озонового слоя.

Не менее серьезным последствием загрязнения атмосферного воздуха является выпадение кислотных дождей. Под этим термином понимается все метеорологические осадки, включая град, снег, туман. Повышение концентрации воздуха оксидами серы и оксидами азота приводят к выпадению подобных осадков, чей уровень водородного показателя понижен. Кислотные дожди пагубно влияют на растения и животных, вызывает их болезни и гибель. Повышают уровень кислотности в водоемах, из-за чего в них гибнет рыба и водоросли. Наносит неоценимый вред почве и уничтожает огромные плантации сельскохозяйственных культур [2].

Выбросы Ново-Иркутской ТЭС (диоксид серы и диоксид азота) способствуют выпадению кислотных дождей. Это связано с тем, что оксиды серы, которые образуются при сжигании топлива, взаимодействуют с водяным паром, в результате образуются пары серной кислоты. В свою очередь кислотные дожди, при попадании в экосистемы (водные и наземные) изменяют популяции организмов и могут менять видовой

состав организмов, населяющих эти экосистемы. Особенно это нежелательно для экосистемы озера Байкал.

Для растительного мира выбросы ТЭС приводят к ослаблению растений, их преждевременному старению, поражению болезнями и вредителями, а также к гибели. Также выбросы ТЭС могут быть опасны и для животного мира из-за содержания в продуктах сгорания органического топлива веществ 1 класса опасности, которые обладают канцерогенной и мутагенной активностью.

В почвах города Иркутска и прилегающей территории отмечается превышение содержания F, Al, Pb, Mn, Cr, Co, Ni, Ba, V, Cd, Zn, As в 3–10 раз и более по отношению к фоновому. Это является следствием высокого содержания загрязняющих веществ в промышленных выбросах и накопления их в суглинистых почвах с высоким содержанием глинистых частиц и гумуса. [3, с. 124]

Выбросы теплоэлектростанции представляют огромный вред здоровью населения региона. В табл. 2 приведены вещества, загрязняющие атмосферный воздух и их воздействие на здоровье человека.

Таблица 2

Влияние выбросов на здоровье населения [4]

Вещество	Воздействие на здоровье человека
Диоксид серы (сернистый ангидрид)	Имеет высокую степень токсичности, при вдыхании организм реагирует кашлем, насморком, першением в горле. При попадании концентрированного диоксида серы на слизистые возможны проявления удушья и затруднение глотания, случаются расстройства речи, неукротимая рвота и даже отек легких
Оксиды азота	Более 90 % приходится на монооксид азота NO, который токсичен, негативно воздействует на дыхательные пути. В остальных 10 % выбросов основную часть занимает диоксид азота NO ₂ , который также токсичен, имеет резкий запах, вызывает раздражение дыхательных путей
Бензопирен	Может накапливаться, накапливаться в организме в результате длительного воздействия, способен вызывать злокачественные опухоли
Оксись углерода	Небольшая концентрация (не более 0,08 %) вызывает удушье и головную боль; при превышении до 0,32 % наблюдается паралич и потеря сознания. При воздействии такой концентрации в течение 25–30 минут наиболее вероятен смертельный исход
Углеводороды	В первую очередь поражается система крови и нейроэндокринная система, что приводит к срыву защитных механизмов организма, а это в свою очередь открывает дорогу для многих болезней, в т. ч. и онкологических

Вещество	Воздействие на здоровье человека
Твердые частицы золы	Действие на бронхи, слизистые оболочки глаз, кожу. В связи с этим повышается заболеваемость бронхитами, ринитами, заболеваниями кожи
Треокись серы	Обостряет заболевание дыхательных путей, скрыто угнетающе воздействует на здоровье человека

По данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области», рост заболеваемости коррелирует с уровнем загрязнения. В муниципалитетах с высоким уровнем загрязнения (города Иркутск, Братск, Черемхово, Ангарск, Усолье-Сибирское) отмечается высокий рост числа заболеваний дыхательных путей, включая хронические бронхиты и астму, что связано с воздействием диоксида серы и оксидов азота. Также зафиксировано повышение заболеваемости болезнями крови, нервной и эндокринной систем, что указывает на комплексное негативное влияние загрязнения на здоровье населения региона.

Для снижения вредных выбросов в атмосферу и соответственно для улучшения экологической ситуации в Иркутской области рассматриваются следующие инженерные методы:

1. Технология снижения диоксида азота. Для снижения уровня вредных выбросов в атмосферу от топливосжигающих установок на ТЭС применяются различные методы очистки и обезвреживания дымовых газов от образующихся оксидов азота и серы. Наиболее широко применяемой технологией на сегодняшний день является селективное каталитическое восстановление (СКВ) аммиаком. На базе данного метода разработана схема 1 с использованием реактора СКВ для обезвреживания дымовых газов после котла от диоксида азота и абсорбера насадочного типа (мокрый способ) для очистки диоксида серы [4].

Метода неселективного каталитического восстановления (НСКВ) схема 2 исключает применение парогазового теплообменного аппарата, так как резервы пара на действующих теплоэлектростанциях могут отсутствовать. Кроме того, пар является достаточно дорогостоящим энергоносителем. В этих условиях для поддержания высокой температуры в реакторе селективного каталитического восстановления используется огневой подогреватель. В подогревателе необходимо будет обеспечивать нагрев до 350 °С. После регенеративного вращающегося подогревателя температура составит около 300 °С.

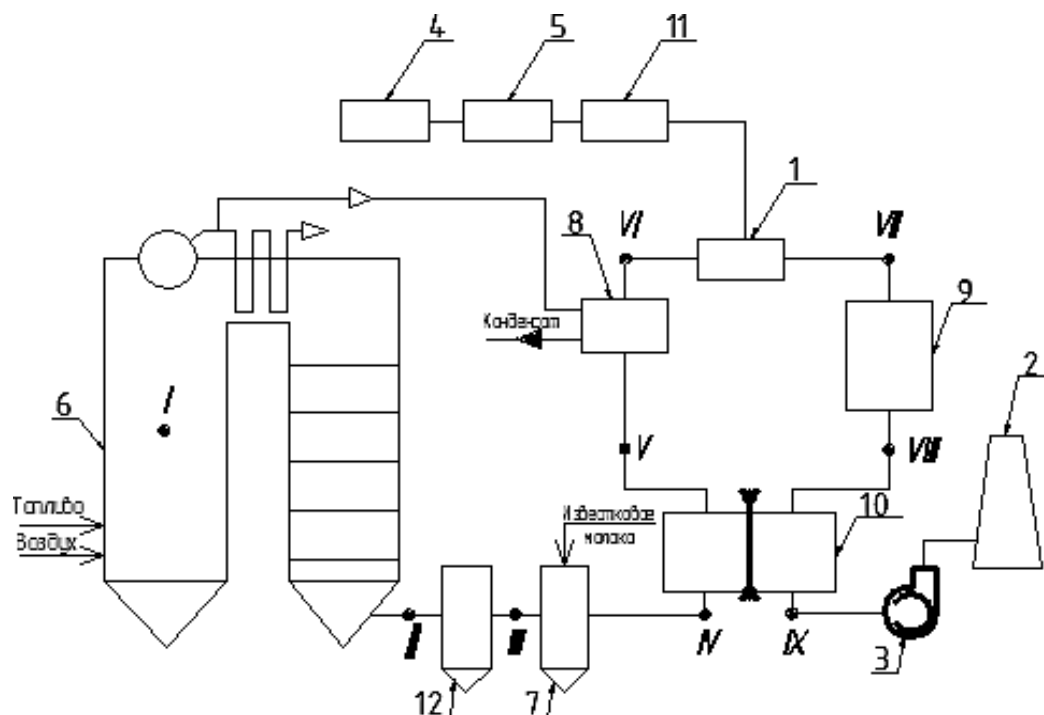


Схема 1. Обезвреживания дымовых газов [5]: 1 – ввод и раздача АВС; 2 – дымовая труба; 3 – дымосос; 4 – ёмкость хранения жидкого аммиака; 5 – испаритель аммиака; 6 – котельный агрегат ТП-210; 7 – насадочный абсорбер очистки от SO₂; 8 – парогазовый теплообменник; 9 – реактор селективной каталитической очистки от NO₂; 10 – регенеративный теплообменник; 11 – смеситель; 12 – электрофильтр; I–IX – температуры дымовых газов по тракту

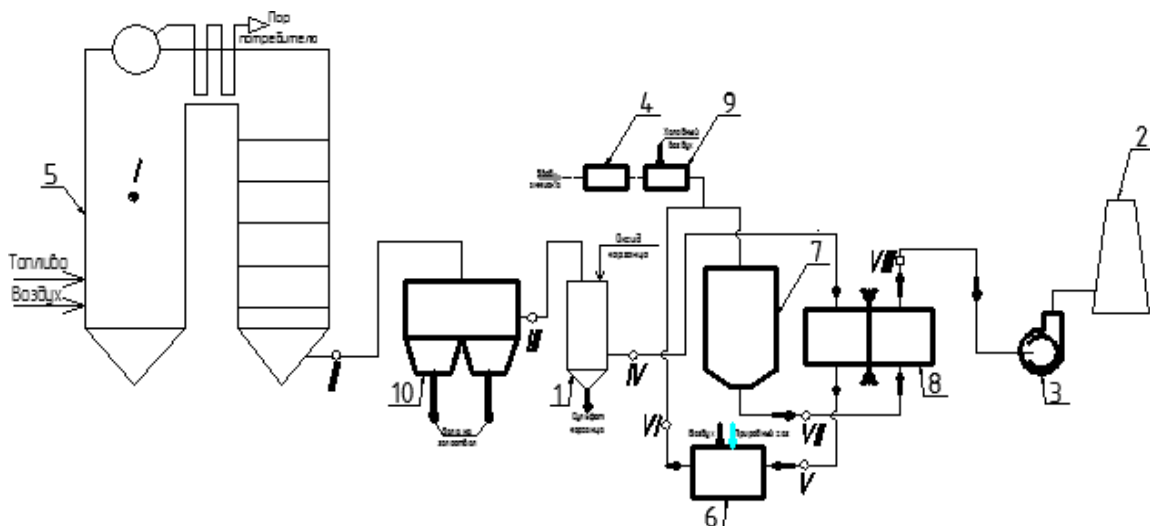


Схема 2. Обезвреживание дымовых газов [6]: 1 – адсорбер очистки от SO₂; 2 – дымовая труба; 3 – дымосос; 4 – испаритель аммиака; 5 – котельный агрегат ТП-210; 6 – огневой подогреватель; 7 – реактор селективной каталитической очистки от NO_x; 8 – регенеративный теплообменник; 9 – система ввода и раздача АВС; 10 – электрофильтр; I–VIII – температуры дымовых газов по тракту

Для минимального снижения температуры отходящих после котла дымовых газов используем сухой способ очистки дымовых газов от оксидов серы. Дымовые газы с температурой 145 °С попадают в адсорбер сухой очистки окисно-марганцевым методом, установленным после электрофильтра. Тонко размолотый оксид марганца в виде порошка подается в горячие дымовые газы (~ 145 °С), где реагирует с SO₂ с образованием сульфата марганца.

Метод селективного каталитического восстановления обеспечивает на сегодняшний день сравнительно высокую степень очистки дымовых газов от оксидов азота, в сравнении с другими способами. Сравнительная характеристика метода селективного каталитического восстановления и неселективного каталитического восстановления (НСКВ) представлена в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительная характеристика НСКВ и СКВ [5]

Критерий сравнения	НСКВ	СКВ
1. Эффективность снижения NO ₂	40–75 %	60–90 %
2. Температурный уровень	870–1200 °С (1600 ° - 2200 ° F)	165–600 °С (325 ° - 1100 ° F)
3. Реагент	Аммиака или мочевины	Аммиака или мочевины
4. Реактор	Нет	Каталитический
5. Утилизация отходов	Нет	Отработанный катализатор
6. Тепловые потери	0–0,3 %	0 %
7. Потребление энергии	Низкое	Высокое для ID вентилятора
8. Инвестиционные затраты	Низкие	Высокие
9. Требуемая площадь земельного участка	Незначительная	Высокая
10. Обслуживание	Незначительное	От 3 до 5 лет (типичный срок службы катализатора)
11. Аммиак / NO ₂ (мольное соотношение)	1,0–1,5	От 0,8 до 1,2
12. Мочевина / NO ₂ (мольное отношение)	0,5–0,75	Непригодна

По данным таблицы можно сделать вывод, что СКВ обеспечивает большую степень очистки дымовых газов от оксидов азота, но при этом является более затратным способом.

2. Технология снижения диоксида серы. Для обезвреживания дымовых газов от оксидов серы используем абсорбер мокрого типа. При температуре дымовых газов после абсорбции ($50\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$) целесообразен их сброс в градирню, т. к. температура газов является низкой для рассеивания через дымовую трубу. Для вновь строящихся станций можно применить такое проектное решение, как расположение аппарата сероочистки внутри корпуса градирни. Данная совместная компоновка позволяет сэкономить полезную площадь на территории ТЭЦ, а также поможет избежать высоких капитальных затрат на строительство дымовых труб.

3. Технология удаления твердых частиц. Золоуловители представляют собой специализированное оборудование, предназначенное для удаления твердых частиц из потока дымовых газов перед их выбросом в атмосферу. Процесс сгорания твердого топлива в котельных агрегатах сопровождается образованием летучей золы, мелких частиц несгоревшего топлива и других твердых включений, которые без соответствующей очистки могут причинить значительный ущерб окружающей среде.

К эффективным золоуловителям на теплоэлектростанции относятся электро-фильтры (ESP), которые имеют степень очистки газов от твердых частиц $99,0\text{--}99,8\%$ при гидравлическом сопротивлении не более 200 Па . Очистка дымовых газов в электрофильтрах основана на разряде между двух электродов, к которым подведен пульсирующий электрический ток высокого напряжения до 60 кВ . Поток газов, проходя через электрофильтр наполняется отрицательными ионами, движущимися от коронирующего к осадительному электроду под действием сил электрического поля. Отдав заряд, частица падает в карман, а затем в золовый бункер. Унос, накапливающийся на осадительных электродах, периодически стряхивается специальными устройствами в бункере, а затем удаляется. Коронирующие электроды сделаны в виде металлических стержней, штыкового сечения или в виде ленточно-игольчатых стержней. Осадительные электроды выполнены из труб или пластин.

Для более качественной очистки газов, используются тканевые фильтры для улавливания мелкодисперсных частиц. Тканевые фильтры - это устройства для очистки газов или жидкостей от твердых частиц, где фильтрующей поверхностью выступает ткань. Ткань выполняет роль несущей поверхности, служит основой для формирования и удержания фильтрующего пылевого слоя.

Разновидности тканевых фильтров:

1. Рукавные тканевые фильтры – представляют собой цилиндрические емкости, в которых расположены вертикально подвешенные тканевые мешки. Частицы золы в дымовом газе, проходя через ткань, застре-

вают. Очищенный воздух выводится через трубу в верхней части емкости. Для очистки рукавов от золы их периодически встряхивают. Зола собирается в отстойнике. Рукавные тканевые фильтры для очистки воздуха от дыма улавливают до 99,9 % золы.

2. Карманные – фильтрующая ткань в форме прямоугольных плоских карманов, закреплённых на специальных рамах. Поток дымовых газов проходит через наружную поверхность ткани внутрь кармана, очистка происходит на наружной стороне ткани. Обычно камерные фильтры применяют на малых энергоустановках. Позволяют очистить воздух от пыли до 95 %.

Рукавные фильтры чаще применяют на теплоэлектростанциях, а не карманные, из-за их эффективности и универсальности. Это связано с особенностями конструкции и принципа работы рукавных фильтров, которые обеспечивают высокую степень очистки дымовых газов. Конструкция рукавных фильтров предусматривает легкий доступ ко всем узлам для технического обслуживания. Устройство системы управления позволяет полностью автоматизировать процесс очистки воздуха.

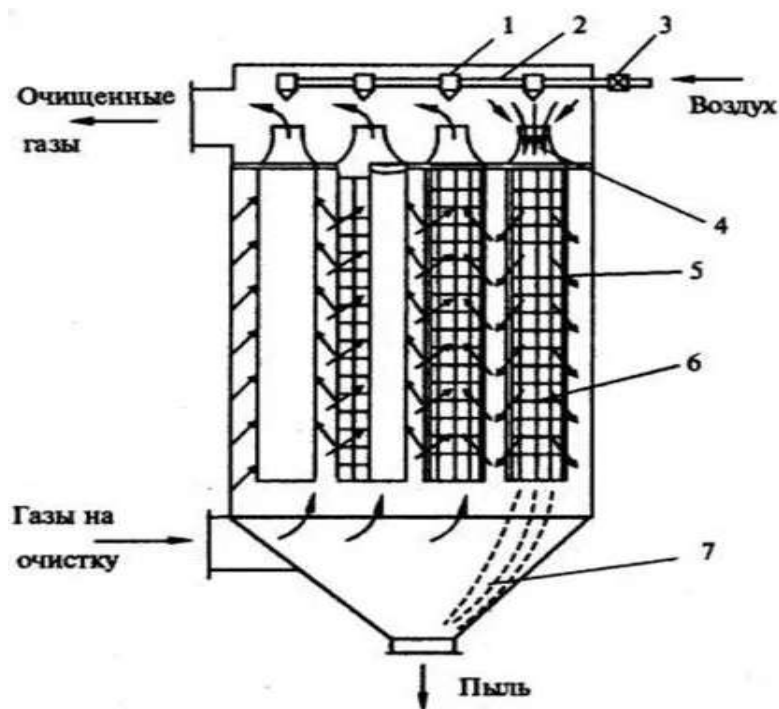


Схема 3. Принципиальная схема рукавного фильтра: 1 – сопло; 2 – подвод сжатого воздуха; 3 – соленоидный клапан; 4 – струя сжатого воздуха; 5 – рукав; 6 – каркас; 7 – бункер

Работа рукавных фильтров происходит циклически и включает три основных этапа: фильтрацию, регенерацию и выгрузку пыли. Принцип действия устройства обеспечивает непрерывную очистку загрязненного воздуха.

1. Фильтрация: как задерживается пыль

Загрязненный воздух через входной патрубок попадает в камеру грязного воздуха. Под действием разрежения, создаваемого вентиляторами, поток проходит через стенки фильтровальных рукавов. Частицы пыли оседают на внешней поверхности ткани, образуя пылевой слой.

Очищенный воздух поступает во внутреннюю полость рукавов, затем в камеру чистого воздуха и удаляется наружу или возвращается в производственное помещение. По мере накопления пылевых отложений возрастает аэродинамическое сопротивление системы, что приводит к снижению производительности установки. Конструкция рукавных элементов позволяет улавливать частицы размером до 0,3 мкм.

2. Регенерация: как фильтр очищает сам себя

Регенерация представляет собой процесс восстановления фильтрующей способности рукавов путем удаления накопившейся пыли. Система автоматического управления контролирует перепад давления между входом и выходом фильтра. При достижении установленного значения запускается цикл регенерации.

Импульсная продувка осуществляется подачей коротких (0,1–2,0 секунды) импульсов сжатого воздуха под давлением до 6–8 атмосфер во внутреннюю полость рукавов. Мощный воздушный удар вызывает резкое расширение фильтрующего материала, что обеспечивает отделение пылевого слоя от поверхности ткани. Продувочный воздух предварительно проходит через осушитель для исключения попадания влаги в рабочую среду.

Импульсная система регенерации работает по заданному алгоритму, обеспечивая равномерную очистку всех фильтровальных рукавов. Принцип импульсной продувки позволяет восстанавливать пористую структуру фильтрующего материала.

3. Сбор и выгрузка уловленной пыли

Отделившиеся твердые частицы под действием силы тяжести падают в бункер-накопитель, расположенный в нижней части корпуса. Опорожнение бункера производится через систему выгрузки бункера.

Фильтрующие материалы подразделяются на натуральные и синтетические.

Натуральные волокна не являются основными материалами для рукавных фильтров, т. к. имеет ряд недостатков: низкая термостойкость,

низкая стойкость к агрессивным газам, подверженность гнилостным процессам и отрицательному действию влаги, низкий срок службы.

Синтетическая ткань для аспирации, по сравнению с натуральной, имеет следующий ряд преимуществ: высокая скорость фильтрации; более качественная очистка газа; меньший вес за счет более высокой прочности; износостойкость; более качественная очистка от загрязнителя (стирка, полоскание, высушивание); материал не гниет; влагоустойчивость; долгий срок службы.

В качестве синтетических материалов лучше использовать силиконизированное стекловолокно и мета-арамид.

Силиконизированное стекловолокно – материал, из которого изготавливают фильтровальные рукава для промышленных аспирационных газоочистных систем. Основой служит конструкционная ткань из стекловолокна, на которую наносят покрытие из силиконовых смол. Силиконовое покрытие повышает износостойкость и антипригарные свойства, уменьшает прилипание пыли и улучшает очищающий эффект. Данный вид ткани характеризуется термостойкостью, химической устойчивостью, механической прочностью и высокой эффективностью фильтрации.

Мета-арамид – нетканное фильтровальное полотно из синтетических волокон, которое используется для изготовления рукавных фильтров в промышленной фильтрации высокотемпературных газов. Обладает такими свойствами, как: термостойкость, химическая устойчивость, минимальный коэффициент термоусадки, минимальная горючесть.

Таким образом, можно сделать вывод: реализация технологии селективного каталитического восстановления (СКВ) для эффективного снижения оксидов азота и модернизация электрофильтров увеличит степень очистки выбросов. Проведение технико-экономического обоснования выбранных методов очистки позволит оптимизировать инвестиции и повысить эффективность внедрения в производственные процессы ТЭС. Создание мониторинговой рабочей группы в сочетании с государственной поддержкой обеспечит контроль над реализацией мер и последующее улучшение экологической ситуации региона.

Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Иркутской области в 2024 году». – Текст : непосредственный.
2. Влияние загрязнённого воздуха на здоровье и окружающую среду // Северный научно-технический альянс : сайт. – URL : <https://www.snta.ru/press-center/vliyanie-zagryaznennogo-vozdukha-na->

zdorove-i-okruzhayushchuyu-sredu/ (дата обращения: 25.10.2023). – Текст : непосредственный.

3. Белозерцева, И. А. Загрязнение почв урбанизированных территорий Байкальского региона / И. А. Белозерцева, И. Б. Воробьёва, А. А. Сороковой, Д. Н. Лопатина. – Текст : непосредственный // Почвоведение. – 2022. – № 1. – С. 119–132.

4. Кесарецких, К. С. Состав выбросов теплоэнергетики и их влияние на здоровье населения / К. С. Кесарецких, П. В. Горлов, Е. Н. Бельская // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка». – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/sostav-vybrosov-teploenergetiki-i-ih-vliyanie-na-zdorovie-naseleniya/viewer> (дата обращения 20.01.2022). – Текст : непосредственный.

5. Черепанов, Н. А. Система селективного каталитического восстановления для снижения выбросов NOX газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Топологии и технологии станций быстрой зарядки электромобилей: обзор и сравнение / Н. А. Черепанов, А. Б. Петроченков. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – № 46. – С. 219–243. – DOI:10.15593/2224-9397/2023.2.10.

6. Тюрина, Е. В. Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А. «Анализ схемных решений по оснащению существующих и проектируемых твёрдотопливных ТЭС системами серо- и азотоочистки» / Е. В. Тюрина ; науч. рук. Н. В. Пономарёва. – Текст : непосредственный.

7. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». – Текст : непосредственный.

8. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха». – Текст : непосредственный.

9. Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчётов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». – Текст : непосредственный.

Т. С. Титова, Р. Г. Ахтямов

*Петербургский государственный университет
путей сообщения имени Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург, Россия*

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ
ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ
ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Актуальность темы исследования обусловлена растущей уязвимостью объектов железнодорожной инфраструктуры к воздействию опасных гидрометеорологических явлений, частота и интенсивность которых возрастают в условиях меняющегося климата. Целью данной статьи является разработка комплексной методологии оценки климатических рисков для объектов железнодорожной инфраструктуры, основанной на принципах сценарного моделирования. В работе проанализированы теоретические основы концепции климатического риска, определяемого как функция опасности, уязвимости и экспозиции. Предложена методология, включающая этапы идентификации климатических опасностей, анализа экспозиции и уязвимости объектов, а также сценарного моделирования с использованием прогнозных климатических данных.

Ключевые слова: климатические риски, железнодорожная инфраструктура, сценарное моделирование, оценка уязвимости, адаптация к изменению климата, опасные гидрометеорологические явления, управление рисками, картографирование рисков, цифровой двойник инфраструктуры, устойчивость транспорта.

Введение

Железнодорожная инфраструктура, являясь критически важным активом с длительным жизненным циклом, характеризуется исключительной уязвимостью к воздействию изменчивых и экстремальных климатических условий. Такие объекты, как мосты, земляное полотно, рельсошпальная решётка и системы электроснабжения, подвержены целому спектру климатических опасностей [2]. К их числу относятся перегрев и деформация рельсов во время волн жары, размывы и подтопления земляного полотна вследствие экстремальных осадков и паводков, а также обледенение контактной сети, что напрямую угрожает безопасности и бесперебойности перевозочного процесса [2].

Наблюдаемый в последние десятилетия рост частоты, интенсивности и продолжительности опасных гидрометеорологических явлений на территории России, связанный с глобальными климатическими изменениями, многократно усиливает существующие угрозы [3]. Это обуславливает настоятельную необходимость перехода от практик реагирования на уже произошедшие инциденты к стратегиям проактивного управления климатическими рисками. Такой подход становится неотъемлемым элементом обеспечения эксплуатационной надёжности, экономической эффективности и долгосрочной устойчивости работы железнодорожного транспорта [4].

Цель статьи заключается в разработке комплексной методологии оценки климатических рисков для объектов железнодорожной инфраструктуры, основанной на принципах сценарного моделирования и позволяющей проводить количественный анализ для различных временных горизонтов.

Теоретические основы оценки климатических рисков

В современной научной и практической парадигме управление климатическими рисками базируется на междисциплинарном подходе, рассматривающем риск как функцию трех ключевых компонентов: $\text{Риск} = (\text{Опасность}) \times (\text{Уязвимость}) \times (\text{Экспозиция})$ [5]. Применительно к железнодорожному транспорту, климатическая опасность понимается как потенциально вредное физическое воздействие, выраженное через свои характеристики – интенсивность, продолжительность, частоту возникновения и пространственный охват конкретных явлений (например, температура воздуха, количество осадков, скорость ветра). Экспозиция отражает наличие и локализацию активов железнодорожной инфраструктуры (путей, искусственных сооружений, систем управления) в зонах потенциального воздействия климатических опасностей. Наиболее сложным для количественной оценки является компонент уязвимости, который определяется как предрасположенность объекта инфраструктуры к получению повреждений при воздействии опасности определенной интенсивности, а также его способность (или неспособность) противостоять этому воздействию. Уязвимость является интегральным показателем, зависящим от физического состояния, конструктивных особенностей, возраста объекта и предпринятых адаптационных мер.

Долгосрочный характер изменений климата и связанная с этим фундаментальная неопределённость будущих условий требуют применения специальных инструментов прогнозирования. Наиболее признанным в мировой практике является использование семейства скоординированных сценарных траекторий (Shared Socioeconomic Pathways – SSP), кото-

рые описывают различные варианты концентрации парниковых газов и, соответственно, уровни глобального потепления к концу XXI в. [6]. Применение набора сценариев (например, устойчивого развития SSP1-2.6, среднего SSP2-4.5 и инерционного пессимистичного SSP5-8.5) позволяет отказаться от поиска единственного «верного» прогноза в пользу анализа диапазона возможных будущих состояний климатической системы. Это создаёт основу для построения сценариев воздействия на инфраструктуру, реализующих логику «что, если?» для различных комбинаций климатических опасностей и состояний объектов, что особенно актуально для стратегического планирования с горизонтом 20–50 лет [7].

Анализ современных подходов к оценке климатических рисков демонстрирует определенный прогресс, однако выявляет и системные пробелы. Международный союз железных дорог разработал рамочные рекомендации по адаптации, акцентирующие внимание на важности скрининга рисков, однако они носят общий характер и не предлагают детальных, стандартизированных методик количественной оценки для конкретных типов объектов [8]. В холдинге «РЖД» вопросы учёта климатических факторов традиционно интегрированы в систему технического обслуживания и ремонта, однако эти меры зачастую носят реактивный, а не проактивный характер и не в полной мере учитывают долгосрочные климатические тренды. Существующие отраслевые документы часто фокусируются на анализе отдельных видов опасностей (например, паводков) без их комплексного рассмотрения во взаимосвязи. Таким образом, ключевым недостатком многих существующих подходов является их фрагментарность, отсутствие системной интеграции данных климатического моделирования с детальными инженерными моделями уязвимости [9], что ограничивает возможности для обоснованного инвестиционного планирования в области климатической адаптации.

Методология оценки климатических рисков

Этап 1: Идентификация и каталогизация климатических опасностей. Первоначальным этапом методологии является систематизация климатических угроз для железнодорожной инфраструктуры России. На основе анализа данных Росгидромета и научных публикаций [2, 10] формируется структурированный перечень релевантных опасных явлений с их физическими характеристиками. Для каждого явления устанавливаются количественные пороговые значения интенсивности, превышение которых приводит к негативным последствиям для инфраструктуры. Например, для волн жары критическим показателем является температура воздуха $+35^{\circ}\text{C}$, при которой значительно возрастает риск деформации пути [4]. Для экстремальных осадков устанавливаются суточ-

ные и часовые нормы, приводящие к подтоплению земляного полотна. Особое внимание уделяется составлению карт повторяемости опасных явлений в пространственном разрешении, соответствующем масштабам железнодорожной сети.

Этап 2: Анализ экспозиции и оценка уязвимости. Ключевым элементом методологии является создание цифрового двойника инфраструктуры – геоинформационной системы, содержащей пространственно-привязанные данные о всех объектах: пути, искусственных сооружениях, системах энергоснабжения и управления. На основе этого реестра проводится анализ экспозиции, определяющий, какие именно активы и в какой степени находятся в зонах воздействия идентифицированных климатических опасностей. Центральное место на данном этапе занимает разработка матриц уязвимости, устанавливающих функциональную зависимость между интенсивностью опасного воздействия и степенью потенциального ущерба для каждого типа объекта. Например, для мостовых переходов оценивается зависимость между расходом воды в реке и риском повреждения опор, а для контактной сети – между толщиной гололёда и вероятностью обрыва проводов [9]. Матрицы уязвимости формируются на основе экспертных оценок, статистики отказов и данных натурных наблюдений, с обязательным учётом адаптационного потенциала объектов.

Этап 3: Сценарное моделирование и количественная оценка риска. Заключительный этап реализует принципы сценарного подхода через интеграцию данных климатических прогнозов с моделями уязвимости инфраструктуры. В соответствии с рекомендациями IPCC [5] используются три сценарные траектории: устойчивого развития (SSP1-2.6), средней реализации (SSP2-4.5) и инерционного развития (SSP5-8.5) на периоды до 2030, 2050 и 2100 годов. На основе региональных климатических моделей [7] строятся карты изменений климатических характеристик для каждого сценария, которые накладываются на цифровую модель инфраструктуры. Процедура оценки риска включает расчёт двух компонентов: вероятности реализации ущерба (на основе частоты опасных явлений в будущем климате) и масштаба последствий (определяемого через матрицы уязвимости). Количественная оценка осуществляется как в натуральных показателях (ожидаемое время простоя объектов, количество задержанных поездов), так и в стоимостном выражении (затраты на восстановление, экономические потери от перерывов в движении). Для критически важных объектов дополнительно проводится анализ каскадных эффектов, когда повреждение одного элемента системы приводит к нарушениям в смежных сегментах инфраструктуры.

Ожидаемые результаты и их практическая значимость

Ключевым результатом применения разработанной методологии является создание серии тематических карт, обеспечивающих наглядную визуализацию пространственного распределения климатических рисков для железнодорожной сети. Данные карты будут классифицировать риски по уровням – от низкого до критического – как для сети в целом, так и для отдельных ключевых объектов инфраструктуры. Картографирование позволит выявить наиболее уязвимые участки, подверженные воздействию множественных климатических угроз. Например, будут идентифицированы участки магистралей, где сочетаются риски перегрева рельсов и лесных пожаров, или зоны, где частые паводки усугубляются эрозией склонов. Использование ГИС-технологий обеспечит возможность многослойного анализа и актуализации данных по мере поступления новой климатической информации.

На основе количественных оценок риска будет сформирован рейтинг объектов железнодорожной инфраструктуры по уровню климатических угроз. Ранжирование позволит перейти от субъективного распределения ресурсов к обоснованному определению приоритетов при планировании ремонтов, реконструкции и новых инвестиций [4]. Для каждого объекта будет рассчитан интегральный индекс риска, учитывающий вероятность реализации опасных явлений, степень уязвимости объекта, стоимость потенциального ущерба и значимость объекта в перевозочном процессе. Такой подход соответствует принципам риск-ориентированного управления и позволяет оптимально распределять ограниченные финансовые ресурсы холдинга «РЖД».

Разработанная методология позволяет перейти от оценки физических рисков к расчёту их влияния на ключевые бизнес-показатели компании. Будет проведена количественная оценка воздействия климатических рисков на эксплуатационные расходы (увеличение затрат на содержание и ремонт инфраструктуры), выполнение графика движения (рост задержек и отмен поездов), безопасность перевозок (вероятность инцидентов и аварий), а также на репутационные риски [8]. Особое внимание уделяется оценке потенциальных потерь от перерывов в движении на критически важных направлениях, что имеет существенное значение для экономики регионов и страны в целом.

Практическая значимость методологии заключается в её прямой применимости для различных уровней управления в холдинге «РЖД». На стратегическом уровне результаты оценки станут основой для разработки комплексного Плана адаптации к изменениям климата, определяющего долгосрочные цели и направления деятельности [4]. На инвести-

ционно-финансовом уровне – обеспечат обоснование капиталовложений в усиление наиболее уязвимых объектов и внедрение климатически устойчивых технологий. На оперативном уровне – позволят усовершенствовать регламенты эксплуатации инфраструктуры в периоды экстремальных погодных условий, разработать превентивные мероприятия и планы действий при угрозе возникновения опасных климатических явлений [2]. Таким образом, предлагаемая методология создаёт научно обоснованный инструментарий для интеграции климатической повестки во все бизнес-процессы компании.

Заключение

Проведённое исследование позволило разработать комплексную методологию оценки климатических рисков для объектов железнодорожной инфраструктуры, основанную на принципах сценарного моделирования. Предложенный подход обеспечивает системное решение задачи за счёт последовательной реализации трех ключевых этапов: идентификации климатических опасностей, анализа экспозиции и уязвимости инфраструктуры, а также сценарного моделирования с использованием прогнозных климатических данных. Важным преимуществом методологии является её гибкость – возможность адаптации под различные временные горизонты и климатические сценарии, что особенно ценно для задач долгосрочного планирования в условиях неопределённости будущих климатических изменений. Учёт каскадных эффектов и интегральная оценка рисков для бизнеса выводят предлагаемую методологию за рамки традиционных инженерных подходов, обеспечивая её практическую значимость для управления устойчивостью железнодорожной системы в целом.

Научная новизна исследования заключается в разработке интегрированного подхода, сочетающего последние достижения климатического моделирования с детальной оценкой уязвимости конкретных объектов железнодорожного транспорта. В отличие от существующих методик, носящих зачастую фрагментарный характер, предлагаемая методология обеспечивает комплексный учёт множественных климатических угроз во взаимосвязи с функциональными характеристиками инфраструктуры.

В качестве основных направлений можно выделить уточнение моделей уязвимости на основе ретроспективного анализа данных мониторинга состояния инфраструктуры и натурных наблюдений за последствиями опасных гидрометеорологических явлений, разработку отраслевых нормативов и стандартов по учёту климатических рисков при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов железнодорожной инфраструктуры, интеграцию методологии с системами управления

жизненным циклом объектов инфраструктуры для обеспечения сквозного учёта климатического фактора на всех этапах существования объектов, а также исследование эффективности и экономической целесообразности различных адаптационных мероприятий с учётом региональной специфики и сценарных условий.

Библиографический список

1. Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года [Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 окт. 2021 г. № 3052-р] // Собрание законодательства РФ. – 2021. – № 45. – Ст. 7697. – Текст : непосредственный.

2. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году» / МЧС России. – Москва : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2023. – 289 с. – Текст : непосредственный.

3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год / Росгидромет. – Москва, 2025. – 135 с. – Текст : непосредственный.

4. Ахтямов, Р. Г. Анализ последствий изменения климата для управления климатическими рисками на железнодорожном транспорте / Р. Г. Ахтямов. – Текст : непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – № 2. – С. 7–17.

5. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. – Cambridge: Cambridge University Press, 2022. – 3056 p. – Текст : непосредственный.

6. Riahi, K. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview / K. Riahi, D. P. van Vuuren, E. Kriegler // Global Environmental Change. – 2017. – Vol. 42. – P. 153–168. – Текст : непосредственный.

7. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Г. Э. Инсаров, О. К. Борисова, М. Д. Корзухин [и др.] ; под общей редакцией С. М. Семёнова. – Москва : НИЦ «Планета», 2021. – 265 с. – Текст : непосредственный.

8. Rail Adapt: Implementing Adaptation to Climate Change in the Rail Sector / International Union of Railways (UIC). – Paris: UIC, 2021. – 139 p. – Текст : непосредственный.

9. Цыганов, В. В. Адаптация железнодорожной инфраструктуры к изменению климата / В. В. Цыганов, С. А. Савушкин. – Текст : непосредственный // ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2024. – № 1-2 (22-23). – С. 36–42.

10. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Росгидромет. – Санкт-Петербург : Научно-технические технологии, 2022. – 124 с. – Текст : непосредственный.

В. С. Хомякова, К. А. Прокопьева, В. С. Верлан
*Уральский государственный университет путей сообщения,
г. Екатеринбург, Россия*

«ИСОБОР» – ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ОГНЕВЫХ РАБОТ

В статье рассматриваются методы автоматизации процесса оценки рисков и выявления потенциальных угроз в реальном времени при проведении огневых работ. Предложенная интеллектуальная система использует современные алгоритмы машинного обучения и сенсорные технологии для мониторинга условий работы. Разработка имеет своей целью минимизацию рисков, снижение числа аварийных ситуаций и повышению безопасности труда персонала.

Ключевые слова: интеллектуальная система, безопасность, огневые работы, искусственный интеллект, автоматизация, мониторинг, искусственный интеллект, компьютерное зрение.

В современных условиях производства вопросы обеспечения безопасности при проведении огневых работ приобретают особую актуальность. Технологические операции, связанные с применением открытого огня, сопряжены с различными опасностями и рисками, среди которых: возгорание горючих материалов, скрытое тление, вредное воздействие на работников разлетающихся искр, высокой температуры и др.

В настоящее время проблема обеспечения безопасности огневых работ исследуется в различных аспектах. Проводится анализ законодательной базы в области пожарной безопасности при проведении огневых работ (Соколов К. В., Ефимов С. В.), рассматриваются методы контроля воздушной среды при проведении огневых и газоопасных работ (Актганова А. М., Семенюк Д. Ю.), особенности применения мер безопасно-

сти на занятиях по огневой подготовке (Ворожцов А.М., Щербинин Е.С.) [1; 2; 3].

Существующие методы контроля зачастую не обеспечивают необходимого уровня защиты из-за сложности мониторинга всех параметров безопасности и непредсказуемости человеческого фактора. Анализ производственной статистики демонстрирует рост числа нарушений, связанных с несоблюдением требований безопасности, отсутствием должного контроля и недостаточным использованием средств индивидуальной защиты.

Проблема обеспечения безопасности при проведении огневых работ является одной из приоритетных задач в сфере промышленной безопасности. Традиционные методы контроля не всегда способны обеспечить необходимый уровень защиты работников и производственных объектов. Внедрение современных технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения позволяет создать комплексную систему мониторинга, способную в режиме реального времени отслеживать соблюдение требований безопасности.

Методологической основой исследования послужили принципы системного анализа, методы компьютерного зрения, технологии искусственного интеллекта и нормативные требования безопасности.

При проведении исследования особое внимание уделено изучению системных нарушений требований безопасности при проведении огневых работ, основными из которых являются: проведение работ при неисправном оборудовании, отсутствие средств пожаротушения, работу на свежеокрашенных поверхностях, а также использование одежды, пропитанной горючими жидкостями. Данный перечень свидетельствует, что основная причина несчастных случаев и аварийных ситуаций при проведении данного вида работ – человеческий фактор, включая невнимательность, недостаток навыков, а также нарушения и ошибки в коммуникации и соблюдении инструкций.

Минимизации влияния человеческого фактора способствуют различные методы: контроль, обучение, поведенческий аудит, формирование культуры безопасности труда и другие.

Использование современных систем контроля позволяет предотвратить возгорания, взрывы, оптимизировать рабочий процесс, избежать ошибок и снизить риски, связанные с человеческим фактором. Это достигается применением автоматического мониторинга условий, удалённого контроля и своевременного оповещения о потенциальных опасностях. Использование искусственного интеллекта (ИИ) в современных системах контроля проведения огневых работ позволяет значительно повысить эффективность и точность управления этими работами.

В данном исследовании разрабатывается интеллектуальная система оценки безопасности огневых работ «ИСОБОР», основные задачи которой: фиксация, регистрация и анализ выполнения требований при проведении огневых работ. Система обрабатывает следующую информацию: состав бригады, соответствие наряду-допуску, обеспечение контроля со стороны руководителя, время проведения работ, соблюдение регламентированных перерывов, соблюдение требований безопасности при проведении огневых работ (расстояние между баллонами, применение СИЗ, ограждение и т.д.), доступ посторонних лиц на место проведения огневых работ, курение на рабочем месте.

«ИСОБОР» представляет собой многоуровневую систему, включающую три основных слоя (компонента):

- сбора данных формируется на базе комплекса периферийных устройств, включающих стационарные камеры видеонаблюдения высокого разрешения, мобильные камеры с возможностью записи в труднодоступных местах, термальные камеры для контроля температурного режима, датчики загазованности с различными типами сенсоров и системы контроля доступа с биометрической идентификацией.

- обработки информации реализован на базе сервера анализа видео с использованием алгоритмов искусственного интеллекта, модуля интеграции данных с различными источниками и распределённой базы данных для хранения информации.

- представления информации включает веб-портал с расширенной аналитикой, мобильное приложение для оперативного контроля и диспетчерский пункт с визуализацией данных.

Ключевыми функциями системы «ИСОБОР» являются:

- Фиксация требований: автоматическое формирование наряда-допуска на огневые работы с указанием места, времени, цели и ответственных лиц; включение в наряд-допуск списков требований безопасности, которые необходимо выполнить (например, наличие средств пожаротушения, исправность оборудования, очистка рабочего места); интеграция с нормативными документами для автоматической проверки соблюдения правил при подготовке наряда-допуска.

Регистрация выполнения: электронная фиксация выполнения каждого пункта требований наряда-допуска с помощью мобильного приложения для исполнителей и ответственных лиц, включение в систему форм для записи результатов инструктажа, проверок состояния воздушной среды, наличия средств индивидуальной и коллективной защиты, фиксация фото- и видеоматериалов, подтверждающих выполнение требований, например, очистка оборудования, проверка средств пожаротушения.

– Оповещение и сигнализация: мгновенная реакция на опасные действия и подача предупреждающих сигналов.

– Аналитика и отчётность: формирование предписаний, дашборды, оценка уровня безопасности.

– Компьютерное зрение: распознавание СИЗ – контроль наличия и правильности применения касок, очков, сварочных масок; фиксация опасных действий – ИИ-анализ для мгновенной фиксации курения или других нарушений; контроль зоны проведения работ – проверка установки ограждений, искроуловителей и безопасного расстояния баллонов.

С учетом ключевых функций выстроена структура системы «ИСОБОР», которая построена на четырёх взаимосвязанных модулях:

– Первый модуль отвечает за регистрацию и фиксацию всех производственных событий с автоматической привязкой к географическим координатам, что позволяет вести непрерывный цифровой учёт всех происходящих процессов.

– Второй модуль представляет собой систему реагирования и управления, обеспечивающую удалённый контроль над всеми операциями и мгновенную реакцию на критические ситуации.

– Третий компонент – аналитический блок, который выступает интеллектуальным центром системы, формирующим прогнозирующие отчёты на основе собранных данных и выявляющим потенциальные риски до их фактического появления.

– Четвёртый модуль оснащён технологиями компьютерного зрения, которые в режиме реального времени распознают опасные ситуации, нарушения требований безопасности и другие критические факторы риска, автоматически классифицируя их и инициируя необходимые меры реагирования.

Перечень фиксируемых параметров, технология и метод фиксации представлены в Таблице.

Таблица

**Перечень фиксируемых параметров,
технология и метод фиксации**

Перечень фиксируемых параметров	Технология и метод фиксации
Состав бригады, соответствие наряду-допуску	Распознавание лиц (Face Recognition). Система сопоставляет лица работников в кадре с фотографиями в цифровом наряде-допуске. При несоответствии (посторонний человек или член бригады не в списке) генерируется нарушение

Окончание Таблицы

Перечень фиксируемых параметров	Технология и метод фиксации
Обеспечение контроля со стороны руководителя	Детекция присутствия и атрибутов. ИИ идентифицирует руководителя по специальным меткам (например, цветная каска, жилет с нашивкой) и отслеживает его нахождение в зоне работ. Если руководитель покидает зону дольше разрешенного времени, система фиксирует нарушение
Время проведения работ, соблюдение регламентированных перерывов	Анализ активности. Система анализирует видео и данные с датчиков (например, искры от сварочного аппарата) для определения начала, окончания и перерывов в работе. Сравнивает с графиком в наряде-допуске
Соблюдение требований безопасности	Детекция объектов и их пространственных отношений: – Расстояние между баллонами: ИИ определяет баллоны (объекты цилиндрической формы с определенной цветовой маркировкой) и вычисляет расстояние между ними. При нарушении нормы – сигнал (фиксация). – Применение СИЗ: Модель обучена распознавать средства индивидуальной защиты (сварочная маска, краги, спецобувь, огнеупорный костюм). Отсутствие необходимого СИЗ – сигнал (фиксация). – Ограждение: ИИ проверяет наличие и целостность ограждающих конструкций (щитов, лент) вокруг рабочей зоны. – При отсутствии – сигнал
Доступ посторонних лиц	Распознавание лиц и детекция движения. Система знает «разрешенных» лиц (рабочая бригада). Любой неопознанный человек, входящий в огражденную зону, классифицируется как «посторонний», и генерируется тревога
Курение на рабочем месте	Детекция жестов и объектов. Модель ищет характерные жесты (поднесение руки ко рту) и объекты (сигарета, зажигалка). При обнаружении – сигнал (фиксация)

Интерфейсы пользователей «ИСОБОР»:

– диспетчерский пункт – мониторинг в реальном времени, видеопоток с пометками нарушений, панель тревог;

– web-панель (руководители) – отражает статистику, отчёты, дашборды, формирование и контроль предписаний;

Мобильное приложение (мастера и работники) – фото/видеофиксация, подписание нарядов, онлайн-оповещения и др.

Рабочий процесс применения системы «ИСОБОР» на практике включает три основных этапа:

– подготовительный – начинается с получения электронного наряда-допуска с цифровой подписью, биометрической идентификации членов бригады и проверки наличия и исправности средств индивидуальной защиты;

– основной – характеризуется непрерывным мониторингом параметров безопасности, автоматической фиксацией нарушений с фото- и видеоподтверждением, мгновенным оповещением ответственных лиц и регистрацией всех производственных операций;

– завершающий – включает формирование итогового отчёта с анализом выполненных работ, выявление системных нарушений и разработку корректирующих мероприятий.

Подводя итог, можно сделать вывод, что внедрение системы «ИСОБОР» позволяет:

- значительно повысить уровень производственной безопасности;
- полностью автоматизировать процесс контроля и мониторинга;
- существенно снизить влияние человеческого фактора;
- обеспечить оперативное реагирование на критические ситуации;
- формировать детальную аналитическую отчётность;
- оптимизировать затраты на обеспечение безопасности.

Внедрение системы «ИСОБОР» позволит повысить экономическую эффективность обеспечения безопасности огневых работ за счет сокращения времени на оформление документации (~ 60 %), снижения количества нарушений требований безопасности (~ 75 %), уменьшения времени реагирования на аварийные ситуации в 3 раза, сокращения затрат на административный контроль (~ 40 %).

Дальнейшее развитие системы «ИСОБОР» предусматривает комплексное расширение её функциональных возможностей: планируется существенное усовершенствование технологий компьютерного зрения, что позволит системе более точно распознавать потенциально опасные ситуации и анализировать поведение персонала на производстве. Важным направлением развития станет интеграция с существующими корпоративными системами управления предприятием, что обеспечит более тесное взаимодействие между различными подразделениями и повысит эффективность контроля производственных процессов.

Особое внимание будет уделено внедрению предиктивной аналитики, которая позволит не только реагировать на возникающие угрозы, но и прогнозировать возможные риски, предупреждая их возникновение. Для удобства всех участников производственного процесса планируется разработка специализированных мобильных приложений, которые обеспечат оперативный доступ к информации и возможность мгновенного

реагирования на любые изменения ситуации. Кроме того, в перспективе создание облачной версии системы, что значительно расширит возможности её масштабирования и сделает доступ к функционалу более гибким и удобным для пользователей.

Таким образом, разработанная система «ИСОБОР» представляет собой комплексное решение для автоматизации контроля безопасности при проведении огневых работ. Внедрение интеллектуальных технологий позволяет существенно повысить уровень производственной безопасности и минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций. Система обеспечивает непрерывный мониторинг всех критических параметров безопасности, человеческий фактор и оперативное реагирование на потенциальные угрозы.

Библиографический список

1. Соколов, К. В. Сравнительный анализ законодательной базы в области пожарной безопасности при проведении огневых работ / К. В. Соколов, С. В. Ефимов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – № 9. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-zakonodatelnoy-bazy-v-oblasti-pozharnoy-bezopasnosti-pri-provedenii-ognevyh-rabot> (дата обращения: 21.11.2025). – Текст : электронный.

2. Актуганова, А. М. Совершенствование методов контроля воздушной среды при проведении огневых и газоопасных работ в резервуарном парке предприятия нефтепродуктообеспечения / А. М. Актуганова, Д. Ю. Семенюк // Инновационная наука. – 2016. – № 11-2. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metodov-kontrolya-vozdushnoy-sredy-pri-provedenii-ognevyh-i-gazoopasnyh-rabot-v-rezervuarnom-parke-predpriyatiya> (дата обращения: 01.10.2025). – Текст : электронный.

3. Ворожцов, А. М. Особенности применения мер безопасности на занятиях по огневой подготовке / А. М. Ворожцов, Е. С. Щербинин // Проблемы современного педагогического образования. – 2018. – № 60-1. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-mer-bezopasnosti-na-zanyatiyah-po-ognevoy-podgotovke> (дата обращения: 21.10.2025). – Текст : электронный.

Научное издание

ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО

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

(г. Чита, 21 ноября 2025 г.)

Том 1

Статьи печатаются в авторской редакции

Компьютерная вёрстка
И. А. Нерадовская

Подписано в печать 00.01.2026 г. Печать офсетная. Бумага тип. № 2.
Формат 60х84/16. Печ. л. 26,6. Тираж 100 экз.

672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ