

**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 VIII Всероссийской  
(с международным участием)  
научно-практической конференции**

**Том 1**

**Чита  
2024**

**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 VIII Всероссийской  
(с международным участием)  
научно-практической конференции

(г. Чита, 22 ноября 2024 г.)

Том 1

Чита  
2024

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,  
Е.А. Ларченко (ответственный секретарь)

**С 81 ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО :**  
материалы VIII Всероссийской (с международным участием)  
научно-практической конференции, 22 ноября 2024 г. – Чита :  
ЗаБИЖТ ИрГУПС, 2024. – 540 с.

ISBN 978-5-6048128-2-2

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

УДК 378  
ББК Ч 48

ISBN 978-5-6048128-2-2

© Иркутский государственный университет  
путей сообщения (ИрГУПС), 2024  
© Забайкальский институт железнодорожного  
транспорта (ЗаБИЖТ), 2024  
© Авторский коллектив, 2024

Уважаемые коллеги!

Представляем вашему вниманию материалы VIII 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.



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 в этом году 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. Также немаловажным является и тот факт, что конференция проходит в преддверии объявленного 2024 года как Года науки в Забайкальском крае.

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

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



**А.А. Ерёмченко**



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>РАЗДЕЛ 1. ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ<br/>(ЭЛЕКТРОВОЗЫ, ТЕПЛОВОЗЫ И ВАГОНЫ).....</b>                                                            | <b>11</b> |
| <b>Будгарам Ган-Эрдэнэ, В. В. Тюньков</b>                                                                                                              |           |
| Вибродиагностика колёсных пар вагонов<br>в колёсно-роликовом цехе депо Зуун-Хаара (МНР).....                                                           | 11        |
| <b>А. П. Буйносов, А. А. Козлова</b>                                                                                                                   |           |
| О зависимости ресурса колёсных пар электропоездов<br>от разности диаметров бандажей.....                                                               | 15        |
| <b>С. М. Васильев, А. В. Нагибина</b>                                                                                                                  |           |
| Технические предложения по разработке рефрижераторного<br>подвижного состава.....                                                                      | 21        |
| <b>Т. В. Волчек, В. С. Томилов</b>                                                                                                                     |           |
| Усовершенствование ремонта коллекторных тяговых<br>электродвигателей электровозов переменного тока<br>в условиях сервисного локомотивного депо.....    | 26        |
| <b>Т. В. Иванова, А. Ф. Голиков, А. В. Притупов</b>                                                                                                    |           |
| Оценка безопасной эксплуатации локомотивов<br>методом экспертных оценок и ранговой корреляции.....                                                     | 31        |
| <b>Т. В. Иванова, В. А. Рудаков, Д. Р. Пляскин, Д. Г. Налабордин</b>                                                                                   |           |
| Анализ причин сверхнормативных простоев грузовых вагонов<br>в текущем ремонте.....                                                                     | 37        |
| <b>С. Г. Истомин, О. Д. Юрасов</b>                                                                                                                     |           |
| Разработка прибора неразрушающего контроля деталей и узлов<br>моторвагонного подвижного состава на основе рентгенографии.....                          | 41        |
| <b>С. А. Кахаев, А. О. Линьков, О. В. Мельниченко</b>                                                                                                  |           |
| Математическое моделирование работы системы мониторинга<br>сопротивления изоляции силовой цепи электровозов<br>переменного тока.....                   | 53        |
| <b>С. Н. Куркин, О. С. Якушкина, Е. П. Гришин</b>                                                                                                      |           |
| Регулирование скорости вращения асинхронных<br>электродвигателей.....                                                                                  | 63        |
| <b>Е. А. Ларченко, Е. А. Стребков, Т. В. Иванова, Е. Л. Сигачёва</b>                                                                                   |           |
| Перспективные технологии эксплуатации и обслуживания<br>транспортных средств.....                                                                      | 68        |
| <b>О. В. Мельниченко, А. В. Коновалов, С. А. Кахаев</b>                                                                                                |           |
| О сеточной сходимости при анализе механических напряжений<br>остова тягового двигателя НБ-514Б электровоза «Ермак»<br>в программной среде «FEMAP»..... | 75        |

**С. З. Овсейчик**

Вариант организации устройства диагностирования..... 87

**С. А. Петухов, А. Д. Росляков, Л. С. Курманова**

Организация системы смазки подшипниковых узлов подвижного состава..... 91

**Е. Л. Рыжова**

Новые методы диагностики состояния изоляции обмоток тяговых электродвигателей..... 96

**А. А. Свечников, Д. С. Абуняев**

Оценка эффективности использования системы автоматического запуска и остановки дизеля маневрового тепловоза..... 102

**А. А. Свечников, Д. Д. Попов**

Компоновка оборудования локомотива с топливными элементами.. 107

**К. О. Серяков, В. А. Николаев, К. В. Аверков**

Динамическая нагруженность тягового электродвигателя и методика её исследования..... 113

**В. В. Степанов, С. З. Овсейчик**

Автоматизация процесса обнаружения усталостных трещин в литых деталях подвижного состава..... 120

**Тогтох Сумъяабазар, В. В. Тюньков**

Ремонтопригодность буксовых узлов колёсных пар грузовых вагонов..... 124

**В. С. Томилов, Т. В. Волчек**

Сравнение эксплуатационных характеристик электровозов переменного тока серии ЗЭС5К при работе в условиях номинального и пониженного напряжения в контактной сети..... 129

**С. В. Трескин, Е. Ю. Дульский, П. Ю. Иванов, В. А. Кручек**

Методика выявления подкожухового льдообразования в гидравлических гасителях колебаний подвижного состава железнодорожного транспорта..... 137

**Р. И. Чернин**

Оценка влияния извилистого движения колёсной пары на напряжённо-деформированное состояние внутренних колец буксовых подшипников, напрессованных на шейку оси..... 144

**С. В. Четвериков, В. В. Ходанович**

Применение 3-D прототипирования при проектировании литейных процессов..... 150

**М. Е. Шубина, И. В. Ковригина**

Анализ проведения опытных поездных испытаний тяжеловесных поездов на Забайкальской железной дороге..... 158

|                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>РАЗДЕЛ 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО<br/>И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ<br/>И ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ</b> .....                                                                                                        | 162 |
| <b>Е. В. Артамонова, Т. Н. Асалханова</b><br>Совершенствование путевого инструмента при выполнении работ<br>по исправлению просадок и перекосов пути.....                                                                           | 162 |
| <b>А. О. Виглюш, В. П. Дуняшин</b><br>Автоматизация обслуживания железнодорожных путей.....                                                                                                                                         | 169 |
| <b>К. В. Волошина</b><br>Организация и планирование текущего содержания тоннелей.....                                                                                                                                               | 173 |
| <b>Р. В. Волчек, А. А. Азеев, В. С. Томилов</b><br>Технология поддержания температурного режима балласта<br>на железнодорожных магистралях арктической зоны.....                                                                    | 177 |
| <b>А. С. Козлова, К. А. Кирпичников</b><br>Оценка состояния существующих искусственных сооружений<br>для организации тяжеловесного движения<br>на Забайкальской железной дороге.....                                                | 184 |
| <b>А. С. Козлова, Е. Э. Домашина, И. В. Благоразумов,<br/>К. А. Кирпичников</b><br>Обход города Чита как эффективная мера по повышению<br>пропускной способности участка Транссиба<br>в пределах Забайкальской железной дороги..... | 192 |
| <b>А. С. Козлова, В. Ю. Линейцев, К. А. Кирпичников</b><br>Анализ вариантов реконструктивных мероприятий участков<br>Забайкальской железной дороги.....                                                                             | 202 |
| <b>В. И. Коннов, Н. М. Коллекер</b><br>Определение длины лотка с учётом тепловпотерь.....                                                                                                                                           | 214 |
| <b>В. И. Коннов, В. Ф. Юдина</b><br>Безналедный пропуск воды в насыпях.....                                                                                                                                                         | 218 |
| <b>Н. А. Медведева, В. С. Шварцфельд</b><br>Конфигурация оптимальной топологии сети железных дорог<br>в малоосвоенных регионах.....                                                                                                 | 223 |
| <b>Е. М. Наговицына</b><br>Оптимизация расчётов в проектировании кривых железных дорог<br>с использованием методов статистики.....                                                                                                  | 229 |
| <b>Е. В. Непомнящих, К. А. Кирпичников</b><br>Учёт процессов наледообразования при эксплуатации<br>транспортных сооружений в Забайкальском крае.....                                                                                | 233 |
| <b>А. В. Полянский</b><br>Организационно-технологические аспекты строительства<br>дополнительных главных путей железных дорог.....                                                                                                  | 242 |

**Е. А. Рыжик, В. А. Бучкин, Е. О. Целихов**

Развитие норм проектирования высокоскоростных  
железнодорожных магистралей в России..... 250

**А. В. Чонка**

Применение эрмитовой интерполяции  
при проектировании криволинейных участков пути..... 258

### **РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ.. 269**

**Е. И. Баканова, Г. Р. Ермачков, В. Л. Незевак**

Применение технологий технического зрения  
при тепловизионном обследовании аккумуляторных батарей  
тяговых подстанций..... 269

**М. В. Башаркин, И. Р. Харламов**

Анализ способов интеграции датчиков относительной влажности  
и температуры воздуха в СТДМ ЖАТ..... 275

**К. В. Каргапольцева, Д. А. Малугин, Ю. В. Могильников**

Внедрение кодового приёмника-дешифратора в перегонные  
системы автоматики на железнодорожном транспорте..... 281

**Л. В. Козиенко, О. В. Алямский**

Концепция организации сети ОБТС  
на основе программного коммутатора Softswitch..... 286

**А. А. Комяков, Л. А. Бартель, В. И. Иванченко**

Разработка алгоритма управления совместной работой  
статического генератора реактивной мощности и бустерного  
трансформатора в тяговой сети железных дорог переменного тока.. 291

**Д. В. Коряков, О. А. Соловьёва, Е. Д. Шишкин**

Применение программной среды SimInTech  
для создания виртуального стенда по изучению работы  
электрических машин при несимметрии питающей сети..... 297

**А. В. Крюков, И. С. Овечкин**

Влияние неполнофазных режимов питающей сети на работу  
нетяговых потребителей..... 302

**А. С. Маниковский, Д. Д. Сатышев**

Анализ расхода электроэнергии на тягу поездов..... 309

**К. В. Менакер, А. Ю. Данилова, Д. Д. Спирин**

Разработка устройства бесконтактной идентификации жил  
нагруженного кабеля..... 314

**А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко, М. В. Кузин**

Совершенствование процесса технической эксплуатации  
устройств СЦБ путём внедрения мобильных средств МРМ-Ш  
и ЭТАЛОН-Ш..... 320

**К. Д. Рубцов, Л. И. Жуйко**

Исследование и обоснование параметров компенсации реактивной мощности на электровозе..... 330

**Н. Л. Рябченко, Л. А. Астраханцев, В. А. Тихомиров**

Энергосбережение в электроэнергетических системах и математическое обоснование совершенствования подготовки инженеров-электриков..... 338

**А. М. Чулембаев**

Анализ нормативных требований к качеству электроэнергии в сетях электрифицированных железных дорог..... 350

**Т. В. Щеголева**

Анализ парка железобетонных опор участка контактной сети Абаканской дистанции электроснабжения..... 359

**РАЗДЕЛ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ. ГРУЗОВАЯ И КОММЕРЧЕСКАЯ РАБОТА..... 365**

**А. С. Акельев**

Место грузовых дворов в структуре перевозок железнодорожного транспорта..... 365

**А. Ю. Бардушко, Е. Ю. Пузина**

Повышение эффективности пригородного сообщения за счёт развития туризма и снижения рекреационной нагрузки..... 370

**Е. И. Белова, А. П. Глухов, С. В. Корниенко, А. А. Глухов**

Методика оценивания безопасности информационных активов пассажирских перевозок железнодорожным транспортом..... 375

**Ю. И. Белоголов**

Построение имитационной модели участка Большой Луг – Слюдянка-1 с целью увеличения пропускной способности..... 380

**Е. А. Веласкес**

О технологиях перевозки грузов..... 387

**Н. В. Власова, А. А. Никифорова, Л. Д. Мазур**

Увеличение контейнерных перевозок железнодорожным транспортом Россия – Китай..... 394

**Н. В. Власова, Н. И. Тихонов, Е. С. Татарникова**

Цифровые двойники в логистике и на железнодорожном транспорте..... 400

**В. Е. Зиновьев**

Анализ направлений развития транспортно-логистических систем в условиях внешнего санкционного давления..... 408

**В. В. Зубков, Д. А. Седых**

Оптимизация подготовительных и заключительных операций  
на станции примыкания..... 413

**А. Н. Иванков, М. В. Четчуев**

О проблемах учёта перспективы развития железнодорожных  
станций и узлов..... 419

**Д. А. Кондакова, Е. С. Злодеева, Н. В. Эрлих**

Организация контейнерного терминала..... 427

**А. А. Конюхова, П. С. Бурдяк**

Повышение эффективности работы сортировочного комплекса  
за счёт применения материалов с эффектом памяти..... 435

**А. В. Матафонов**

Анализ пассажиропотоков в Екатеринбургском метрополитене..... 440

**А. Н. Неревяткина**

Эффективное управление цепочками поставок:  
роль железнодорожного транспорта..... 444

**В. А. Оленцевич, А. В. Старожилова**

Вопросы совершенствования железнодорожного транспортного  
законодательства в Российской Федерации..... 448

**В. А. Оленцевич, А. В. Старожилова, Архит Буяннэмэх**

Совершенствование эксплуатационной работы  
объектов железнодорожного транспорта Монголии  
на примере станции Улан-Батор..... 455

**П. Е. Раевская, Н. В. Раевский, В. В. Зубков, О. Н. Панова**

Совершенствование работы участка железной дороги.  
Варианты этапного строительства вторых путей..... 461

**В. А. Рягина, Е. А. Труфанов, О. И. Крушинская**

Повышение комфортности поездки в пригородном  
железнодорожном транспорте как механизм удержания  
и увеличения пассажиропотоков в Иркутской области..... 467

**Е. Н. Светлакова, О. А. Бизяева**

Варианты развития железнодорожных станций,  
расположенных в границах Забайкальской железной дороги,  
для пропуска объединённых контейнерных поездов..... 473

**Е. Н. Светлакова, И. А. Гурова**

Развитие клиентоориентированного сервиса  
транспортно-логистических услуг ОАО «РЖД»  
на основе цифрового управления перевозками грузов  
в международном транспортном коридоре Восток – Запад..... 477

**Е. Н. Светлакова, В. Ю. Ермолина**

Изменение гарантийных участков безопасного следования  
вагонного парка на полигоне Забайкальской железной дороги –  
путь повышения маршрутной скорости..... 483

**С. С. Смирнов, В. В. Костенко**

Управление пригородно-городскими пассажиропотоками  
с помощью тарифной политики..... 487

**Г. И. Суханов, Р. С. Большаков, А. В. Супруновский**

Реализация перевозочных процессов  
при проведении технологических перерывов..... 496

**Р. С. Устемирова, А. Б. Рыскулова**

Улучшение процесса пропуска контейнерных поездов  
в национальной компании «Қазақстан Темір Жолы»..... 501

**С. А. Филиппов, А. С. Соколов, А. В. Барахоев**

Повышение комфортности систем обеспечения движения поездов  
в отношении пригородного сообщения..... 506

**Д. И. Хомич, В. В. Костенко**

Технические и технологические требования  
при организации запуска туристических поездов..... 511

**А. В. Хомов, С. О. Литвинцев, Н. А. Хомов**

Перспективы перевозки грузов, требующих соблюдения  
температурного режима, в среднетоннажных модулях..... 517

**Е. Ю. Царегородцева, А. В. Булгатова**

Современные технологии в логистике 530

**А. В. Эрлих, И. С. Пыльцын**

Современное состояние, проблемы и перспективы развития  
контейнерных перевозок в России..... 535



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

**Будгарам Ган-Эрдэнэ, В. В. Тюньков**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

### **ВИБРОДИАГНОСТИКА КОЛЁСНЫХ ПАР ВАГОНОВ В КОЛЁСНО-РОЛИКОВОМ ЦЕХЕ ДЕПО ЗУУН-ХААРА (МНР)**

*Для тяжелонагруженных буксовых узлов колёсных пар тележек грузовых вагонов необходима надёжная система обеспечения стабильного функционирования для всех возможных сочетаний нагрузок и экстремальных воздействий. При плановых видах ремонта важна информация о ситуационном состоянии ответственных узлов и деталей, которая может быть получена от напольных систем типа КТСМ при движении или «неразрушающими» методами при деповском ремонте.*

*Целью исследования является развитие эффективных методов адеструктивного контроля перед операцией восстановления до альбомных параметров на конкретном производственном участке. В данном случае в ремонтном депо грузовых вагонов станции Зуун-Хаара.*

*По результатам предлагается более универсальная установка, способная диагностировать, кроме роликовых, и кассетные подшипники.*

*Ключевые слова: ремонт, дефектоскопия, вибродиагностика, кассетные подшипники.*

Методы вибродиагностики позволяют довольно простым способом отследить развитие дефектности узлов и деталей в процессе службы механизма, когда к осуществлённым при конструировании основополагающим принципам сопромата присоединяется известный механизм разрушения под нагрузкой. Традиционные технологии изготовления узлов и деталей для подвижного состава железнодорожного транспорта на всех стадиях преобразования заготовки в конкретную деталь, используя методы теории вероятности, добавляют запас прочности, который компенсирует известные погрешности в оценке внутреннего потенциала сопротивления.

Для подтверждения ситуационной надёжности узлов и деталей грузовых вагонов по параметрам, предписываемым сопроматом, необходим мониторинг состояния каждого ответственного сечения. Современные методы неразрушающего (адеструктивного) контроля позволяют это



**РАЗДЕЛ 1. Подвижной состав железных дорог  
(электропоезда, тепловозы и вагоны)**

выполнить как в процессе эксплуатации, так и в составе планового депо-вского ремонта [1]. Актуальность мониторинга ходовой части подвижного состава особенно важна для обеспечения безопасности, особенно при планируемом дальнейшем повышении интенсивности грузоперевозок, особенно при движении поездов на горно-перевальных участках по кривым малого радиуса [5, 6]. В связи с этим при депо-вском ремонте вагонов необходимо предусматривать повышение качества на основе пооперационного и выходного контроля (см. Рисунок).

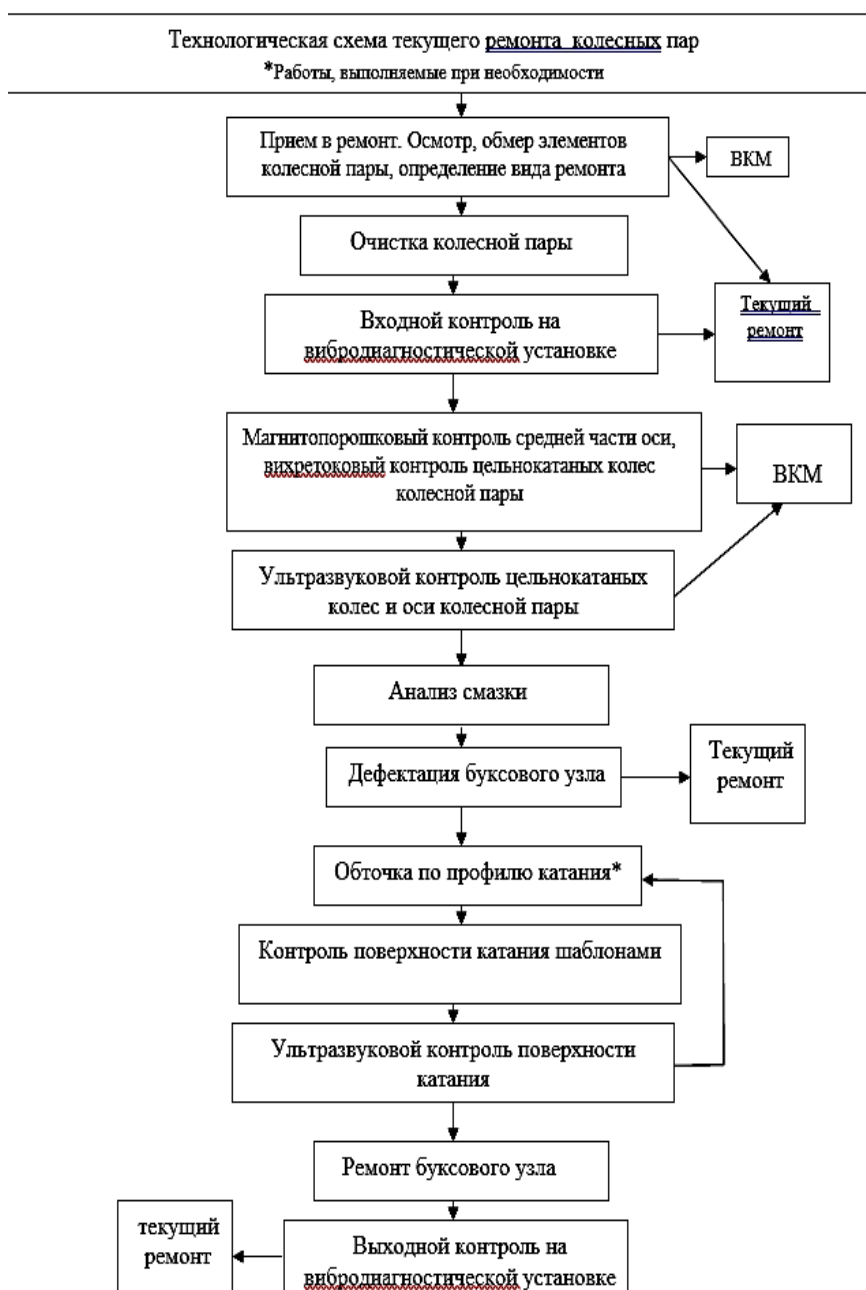


**Рисунок.** Алгоритм схемы восстановления колёсных пар

В составе этого алгоритма присутствует вибродиагностический контроль, который на предприятии осуществляется как обязательная составляющая маршрутной карты при поступлении в цех (КРЦ), так и по технологической карте и при выходе сборочного узла из ремонта [2, 3, 4].

Используя вибродиагностический контроль, выявляем многие дефекты, например, при использовании стендовой установки МПП-93 (Таблица).

*Таблица 1*

**Технические деструктивные характеристики**

| № п/п                                                    | Факт дефекта и его локализация                                                                                                                                                                                                                                                                               | Примечания                                                                     |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Визуальные дефекты</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                |
| 1                                                        | Кольца: внутреннее и наружное, ролик и композитирующего сепаратора                                                                                                                                                                                                                                           | Для кассетных подшипников дополнительный контроль материала внутреннего кольца |
| <b>Возможные механические повреждения (в т.ч. формы)</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                |
| 2                                                        | Определяющие износ все дорожки качения как у колец подшипников, сепараторов и роликов, так и возможные сколы борта у внутреннего кольца заднего подшипника (буксовый узел с двумя подшипниками), контактно-усталостные повреждения как дорожек качения колец, так и образующих поверхностей и торцов роликов | Соответствие альбомным конфигурациям                                           |
| <b>Браковочные разрушения</b>                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                |
| 3                                                        | Деталей комплектующих буксовый узел                                                                                                                                                                                                                                                                          | В том числе упорных и крепящих                                                 |
| <b>Частичные повреждения</b>                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                |
| 4                                                        | Дорожек качения колец и образующих поверхностей роликов                                                                                                                                                                                                                                                      | В том числе коррозионные                                                       |
| <b>Сборочные несоответствия</b>                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                |
| 5                                                        | Геометрических параметров собранных подшипников                                                                                                                                                                                                                                                              | В том числе 3D зазоры                                                          |

Согласно технологической инструкции на установку перед выполнением работ по вибродиагностическому контролю требуется оценить работоспособность её узлов и релевантность измерений. Для этого проверка работоспособности комплексов вибродиагностики подшипников буксовых узлов колёсных пар должна проводиться в начале смены и перед началом работы, часто, когда проводится контроль большой партии единообразных узлов или деталей с подобными дефектами или износа-

ми, то может применяться контрольный образец. В большинстве случаев этот стандартизированный эталон (образец), содержащий деталь, например, ролик с типизированным дефектом. Сравнительная оценка двух узлов, один из которых дефектный, даёт возможность объективного сравнения и, как правило, повышает надёжность процесса, реализуемого в составе технологического алгоритма рабочей карты.

Таким образом, регламентированный процесс, отражаемый в соответствующем журнале, и подтверждает работоспособность механической части и предустановленной аппаратно-программной части, в нашем случае для комплекса МПП-93.

Согласно маршрутной (технологической) карты осуществление вибродиагностического контроля включает подготовку всего комплекса, с установкой траверсой или манипулятором колесной пары на стенд (устройство вращения), включение и загрузку программного обеспечения. Измерение производится при числе  $(300 \pm 10)$  об/мин. Колесная пара, по действующей инструкции, считается забракованной, если хотя бы один из буксовых узлов по результатам вибродиагностики не релевантен. В этом случае колесная пара направляется на восстановление. Для этого производится демонтаж и последующая ревизия. Коды оценки подшипника заносятся в протокол вибродиагностики с описанием характера дефекта и выводом о подтверждении или не подтверждении величины приближения к браковочному порогу.

Рассмотренная установка МПП-93 достаточно широко применяется для вибродиагностического контроля буксовых узлов с роликовыми подшипниками при деповском ремонте. Однако, программное обеспечение данной установки не рассчитано на проведение вибродиагностического контроля колесных пар с буксовыми узлами, оборудованные касетными подшипниками. В связи с этим, для проведения вибродиагностического контроля колесных пар с касетными подшипниками может быть предложена более универсальная установки ОМСД-03, которая может полностью заменить МПП-93, поскольку комплекс диагностики ОМСД-03 применяется для входного и выходного контроля колесных пар с буксовыми узлами, оборудованные и роликовыми и касетными подшипниками.

#### *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. 157–202. — Текст : непосредственный.

2. Руководство по вибродиагностике подшипников буксовых узлов вагонных колесных пар РД 32 ЦВ 187-2021 [утверждено Распоряжением ОАО «РЖД» № 2584/р от 25.11.2021]. – Текст : непосредственный.

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. Комплекс вибродиагностирования подшипников буксовых узлов колесных пар вагонов. Технические требования. № 927-2021 ПКБ ЦВ. – Текст : непосредственный.

5. Воронова, Ю. В. Диагностика износа ходовых частей вагонов в алгоритме обеспечения безопасности подвижного состава / Ю. В. Воронова, В. В. Тюньков, Т. Мунхцэцэг. – Текст : непосредственный // В сб. ИрГУПС : Безопасность регионов – основа устойчивого развития. – 2014. – Т. 1-2. – С. 117–122.

6. 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. – 2023. – № 4 (80). – С. 39–53.

**А. П. Буйносов, А. А. Козлова**

*Уральский государственный университет путей сообщения,  
г. Екатеринбург, Россия*

## **О ЗАВИСИМОСТИ РЕСУРСА КОЛЁСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ОТ РАЗНОСТИ ДИАМЕТРОВ БАНДАЖЕЙ**

*В материале рассматривается проблема ресурса колёсных пар электропоездов. Постановки на неплановый ремонт определяют не только необходимость поиска наиболее быстрого и эффективного способа восстановления работоспособного состояния, но и важность определения первичных причин отказов. Износ гребня и поверхности катания колеса в период эксплуатации обусловлен перекосом колёсной пары, что в свою очередь является следствием превышения допустимой разности в диаметрах колёс. Оценивание разности диаметров колёс исключительно по толщине бандажей является неверным, поскольку происходит пренебрежение возможными отличиями в диаметрах колёсных центров.*

*Ключевые слова: электропоезд, неплановый ремонт, колёсная пара, износ гребня, разность диаметров бандажей, интенсивность износа гребня.*

Любая техника, в особенности такая высокотехнологичная как электропоезд, неизбежно содержит в конструкции узлы и агрегаты, зачастую отличающиеся низким уровнем надежности и частыми выходами из строя.

Износ бандажей колесных пар электропоездов – на сегодняшний день одна из важнейших злободневных проблем, которая оказывает непосредственное влияние на общий уровень надежности электропоездов. Колесная пара по статистике является одним из самых ненадежных узлов в конструкции и, как следствие, требует частого обслуживания и ремонта. При этом важно понимать, что планового обслуживания, как показывает практика реально существующей системы, бывает недостаточно.

Частые постановки на неплановый ремонт препятствуют реализации идеи совершенствования системы технического обслуживания и ремонта электропоездов, необходимость в которой стоит много лет. Однако решение проблемы кроется не только в мерах, принимаемых непосредственно для восстановления работоспособного состояния колесных пар, но и в четком определении первостепенной причины частых отказов.

Ресурс колесной пары в целом зависит от состояния ее максимально изнашиваемых частей, одной из которых является гребень. Именно износ гребня определяет объем стачиваемого металла при восстановлении поверхности катания. Так равномерный прокат и отсутствие явных дефектов гребня колеса способствуют снятию стружки при обточке колесной пары в меньшем объеме.

Как правило, усиленный износ гребневой части поверхности катания обусловлен двумя факторами в процессе эксплуатации: всползанием и соскальзыванием колесной пары. Всползание – это, своего рода, вертикальный сдвиг колеса относительно рельсового полотна, набег гребневой части на верхнюю плоскость рельса. Соскальзывание очень похоже на всползание, основное их отличие заключается в том, что соскальзывание возникает под действием массы экипажной части вагона электропоезда.

Перекося колесной пары относительно рельсовой колеи зависит в первую очередь от разности диаметров колес одной колесной пары. Так при совершении поступательного движения наблюдается проскальзывание механически связанных колес разных диаметров.

Также важно учитывать, что степень износа большего или меньшего по диаметру колеса напрямую зависит от режима движения: тяга это

или торможение. Многолетний опыт эксплуатации показывает, что чем больше диаметр колеса колесной пары, тем более интенсивное скольжение оно испытывает при увеличении скорости движения. При уменьшении скорости (торможении) ситуация обратная.

Таким образом, не составит труда сделать вывод о неравномерном распределении нагрузки на колеса в рамках одной колесной пары. Постоянно изменяющаяся разность диаметров колес влечет за собой изменение скорости увеличения износа гребней колесной пары.

На рис. 1. представлена диаграмма, наглядно отражающая статистику неисправностей колесных пар, из которой можно сделать вывод о том, что различия в диаметрах колес и предельный износ гребней (что также нередко является следствием первого) – наиболее часто встречающиеся дефекты.



**Рис. 1.** Статистика дефектов колёсных пар электропоездов

Важное наблюдение: зачастую принято считать, что если толщина бандажей колес в рамках одной колесной пары одинакова, то делается вывод, что диаметр этих колес одинаков. Однако такой метод не учитывает возможное отличие диаметра колесного центра и обода колеса от чертежного размера. А подобное отличие конструктивно допускается, и в таком случае в общей сложности разность между диаметрами колес может достигать от 9 до 12 мм.



Такая практика оценки разности диаметров колес применяется и по отношению к электропоездам, однако в рамках одной колесной пары допустимое отклонение в разности диаметров не устанавливается, а устанавливается только в рамках одной тележки и между колесными парами разных тележек моторных вагонов. Так, если определено, что у 2-х или 4-х колесных пар моторного вагона нет отличий в толщине бандажей, делается вывод о том, что колеса по диаметру одинаковые.

Для того, чтобы эффективно оценить разницу в диаметрах колес одной колесной пары, важно в первую очередь обратить внимание на износ гребней.

Для наглядного отображения взаимосвязи этих параметров в моторвагонном депо были измерены толщина гребня и бандажа на электропоездах серии ЭД4М.

Разница между диаметрами колес определяется по следующей формуле:

$$\Delta D_0 = |(d_{np.} + D_{кц. np.}) - (d_{л.} + D_{кц. л.})|, \quad (1)$$

где  $d_{np.}/d_{л.}$  – толщина бандажа правого/левого колеса колесной пары;

$D_{кц. np.}/D_{кц. л.}$  – диаметр колесного центра правого/левого колеса колесной пары.

Для более точного и понятного отображения статистических данных, на основании которых определяется зависимость степени износа гребня от разницы диаметров колес ( $\Delta D$ ), полученный при изучении материал разделен на группы в соответствии с определенным значением разности диаметров колес. Объекты каждой группы имеют примерно одинаковую разность в диаметрах. Полученные сведения приведены в Таблице. Зависимость параметров наглядно показана на рис. 2.

*Таблица*

Исходные параметры для определения зависимости износа гребня от разности диаметров колес колесной пары моторных вагонов электропоездов ЭД4М

| Группа № | Количество исходных данных, $N$ | Разность в диаметрах колес одной колесной пары, $\Delta D$ , мм | Интенсивность износа гребня $a$ , мм/ $10^4$ км |
|----------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1        | 230                             | 0                                                               | 0,120                                           |
| 2        | 261                             | 1,0                                                             | 0,191                                           |
| 3        | 133                             | 1,5                                                             | 0,223                                           |
| 4        | 154                             | 2,0                                                             | 0,288                                           |

Окончание Таблицы

| Группа № | Количество исходных данных, $N$ | Разность в диаметрах колес одной колесной пары, $\Delta D$ , мм | Интенсивность износа гребня $a$ , мм/10 <sup>4</sup> км |
|----------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 5        | 202                             | 2,5                                                             | 0,301                                                   |
| 6        | 227                             | 3,0                                                             | 0,328                                                   |
| 7        | 208                             | 3,5                                                             | 0,453                                                   |
| 8        | 123                             | 4,0                                                             | 0,505                                                   |
| 9        | 39                              | 5,0                                                             | 0,659                                                   |
| 10       | 28                              | 6,0                                                             | 0,797                                                   |

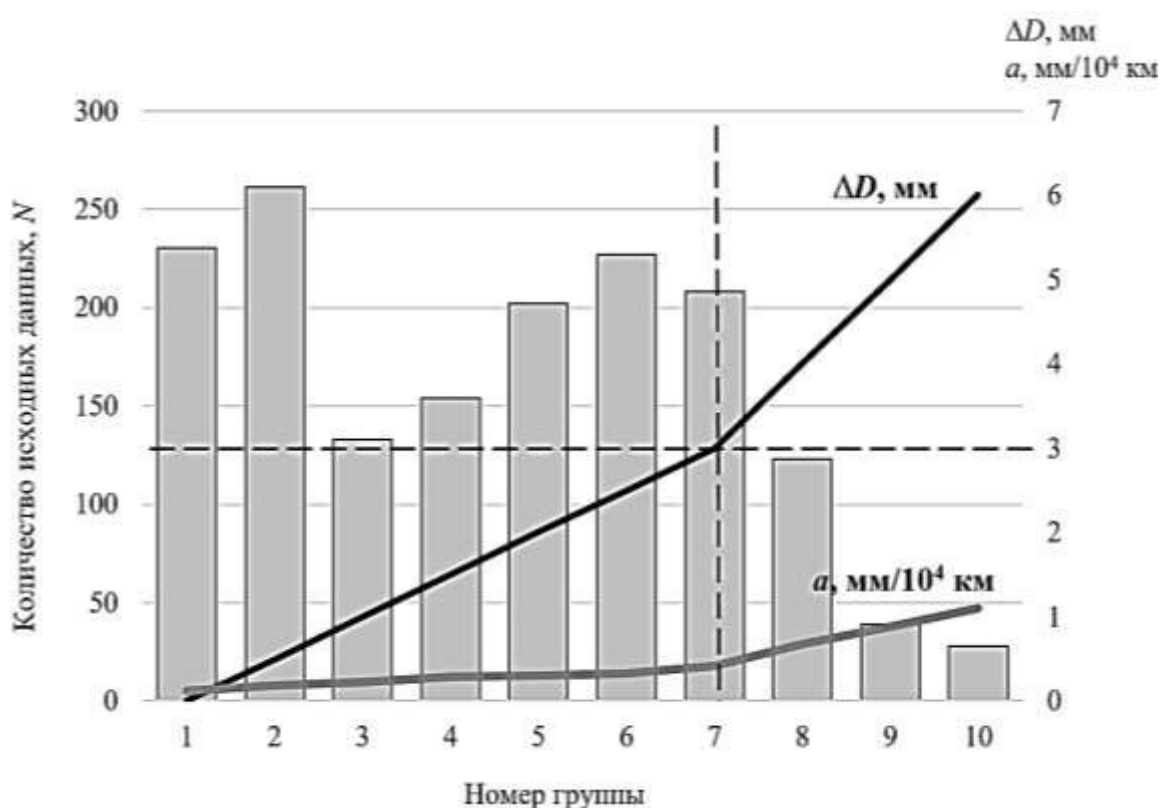


**Рис. 2.** Зависимость интенсивности износа гребня от разности диаметров колёс колёсной пары моторных вагонов электропоездов ЭД4М в моторвагонном депо Нижний Тагил

Из зависимости, приведенной на рис. 2, следует вывод: интенсивность износа гребня резко начинает возрастать в точке, где разность между диаметрами колес достигает 3 мм. В свою очередь, это приводит к большому технологическому износу при проведении операций по обслуживанию и также будут увеличиваться расходы на него (объем снимаемого слоя металла при обточке будет больше).



Для точного определения предельной разности в диаметрах необходимо провести расчеты для каждой группы отдельно, чтобы получить более точные результаты, и на их основании делать выводы о том, при каких значениях разности диаметров износ гребня усиленно возрастает.

Колесная пара как один из самых ненадежных узлов в системе электропоезда при эксплуатации наиболее подвержена возникновению дефектов. Поэтому с целью предупреждения непредвиденного выхода из строя важно не просто проводить своевременное и качественное обслуживание, но и изначально уделять не меньшее внимание конструктивным различиям между колесами в рамках как одной колесной пары, так и в рамках тележки и всей ходовой части одного моторного вагона. Следует опираться на заданные значения параметров и не допускать увеличения разности диаметров свыше допустимого – расчетного значения. Таким образом можно избежать роста материальных затрат на обслуживание и ремонт, обточка колесных пар будет проходить по заданному плану без сокращения пробега до следующего проведения данной операции. Также это способствует сокращению постановок на неплановый ремонт.

#### *Библиографический список*

1. Буйносов, А. П. Определение допустимой разности диаметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава / А. П. Буйносов // Транспорт Урала. – 2009. – № 4(23). – С. 53–54. – Текст : непосредственный.

2. Буйносов, А. П. Причины интенсивного износа бандажей колесных пар локомотивов / А. П. Буйносов, А. Т. Шарапов, А. А. Козлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 1. – С. 60–63. – Текст : непосредственный.

3. Буйносов, А. П. Анализ отказов и способы повышения надежности оборудования электропоездов / А. П. Буйносов, А. А. Козлова // Транспорт Урала. – 2023. – № 3(78). – С. 105–108. – Текст : непосредственный.

4. Буйносов, А. П. Исследование интенсивного изнашивания круга катания колеса с поверхностью рельса / А. П. Буйносов, С. С. Папуловский, А. А. Козлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 6. – С. 41–44. – Текст : непосредственный.

5. Кротов, С. В. Аппроксимация кривой износа профиля обода железнодорожного колеса, примыкающего к гребню / С. В. Кротов, Д. П. Кононов, А. П. Буйносов // Транспорт Урала. – 2023. – № 4(79). – С. 47–53. – Текст : непосредственный.

**С. М. Васильев, А. В. Нагибина**

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

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ РЕФРИЖЕРАТОРНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*Возрастающая потребность в доставке скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом обуславливает необходимость разработки нового рефрижераторного состава, отвечающего современным требованиям по сохранности груза и себестоимости перевозки.*

*Ключевые слова: рефрижераторный подвижной состав, автономный рефрижераторный вагон, холодильное оборудование, перевозка скоропортящихся грузов.*

Перевозка скоропортящихся грузов специализированным изотермическим подвижным составом на просторах железнодорожной колеи 1520 мм получила наибольшее распространение в 80-е годы прошлого века. В отличие от западноевропейских железных дорог, где такая доставка осуществляется в изотермических контейнерах, в СССР под данные цели использовался специализированный подвижной состав, состоявший в основном из 5-ти вагонных рефрижераторных секций и автономных рефрижераторных вагонов с фреоновыми компрессионными холодильными установками и дизель-генераторами в качестве источников питания. Под используемые вагоны, на предприятиях, занимающихся переработкой и хранением изотермически подготовленных продуктов, была создана инфраструктура в виде подъездных путей, погрузочных рамп и погрузо-разгрузочной техники. Данная инфраструктура в настоящее время во многом сохранилась и может быть использована в дальнейшем без существенных капиталовложений. Однако изотермические вагоны, выпущенные в эпоху СССР, уже исчерпали свой ресурс. Инфраструктура обслуживания в пути следования таких вагонов также утрачена. Перевозка железнодорожным транспортом осуществляется в основном вагонами-термосами, в которых отсутствуют холодильные установки, что обуславливает ряд существенных недостатков:

– нет возможности перевозить скоропортящиеся грузы на дальние расстояния при высоких внешних температурах воздуха. При изменении внешних температурных условий меняется и расстояние, на которое можно перевезти груз без риска, что он испортится;

– отсутствует контроль температурных параметров груза в пути следования;

– сохранность груза не гарантирована и подвержена серьезному риску в случае возникновения не плотностей в кузове вагона, а также намоканию или повреждению теплоизоляции во время следования вагона.

В текущих условиях, железнодорожный транспорт существенно проигрывает конкуренцию автомобильному в сфере перевозок изотермической продукции. Однако имеется устойчивый спрос со стороны грузоотправителей на такие перевозки, что подтверждается участвовавшим запросом на переоборудование старого рефрижераторного состава с продлением срока службы.

Для увеличения роста внутренних перевозок на просторах СНГ целесообразно и создание новых конструкций изотермических вагонов, отвечающих современным требованиям и учитывающих сложившуюся ситуацию в инфраструктуре, но для этого необходимо:

– установка новых ходовых частей, обеспечивающих высокую скорость передвижения вагона, с целью сокращения времени перевозки, особенно на дальних маршрутах при следовании в составе рефрижераторных поездов (применяемые ранее тележки КВЗ-И-2 обладают неудовлетворительной ремонтпригодностью и в настоящее время не выпускаются);

– совершенствование теплоизоляции кузова следует производить с учетом существующих современных более эффективных теплоизоляционных материалов с меньшим коэффициентом теплопроводности и менее гигроскопичных. Наружное покрытие кузова производить специализированной энергоэффективной краской. Внутреннее покрытие с применением материалов замедляющих рост бактерий;

– применяемая холодильная установка вагона должна длительно обеспечивать надежную работу без необходимости осмотра механиками и заправки хладагентом на специализированных пунктах технического обслуживания.

Наиболее подходящими по указанным требованиям являются двухосные трехэлементные штампованные тележки модели 18-9999 (рис. 1) с конструкционной скоростью 120 км/ч, повышенной устойчивостью движения при высоких скоростях на прямых и кривых участках пути, а также увеличенным межремонтным пробегом – 500 тысяч километров [3].

Опыт эксплуатации рефрижераторных вагонов с применением в качестве теплоизоляционных материалов полистирола, пенопласта, а также других подобных полимерных материалов выявил ряд существенных недостатков.

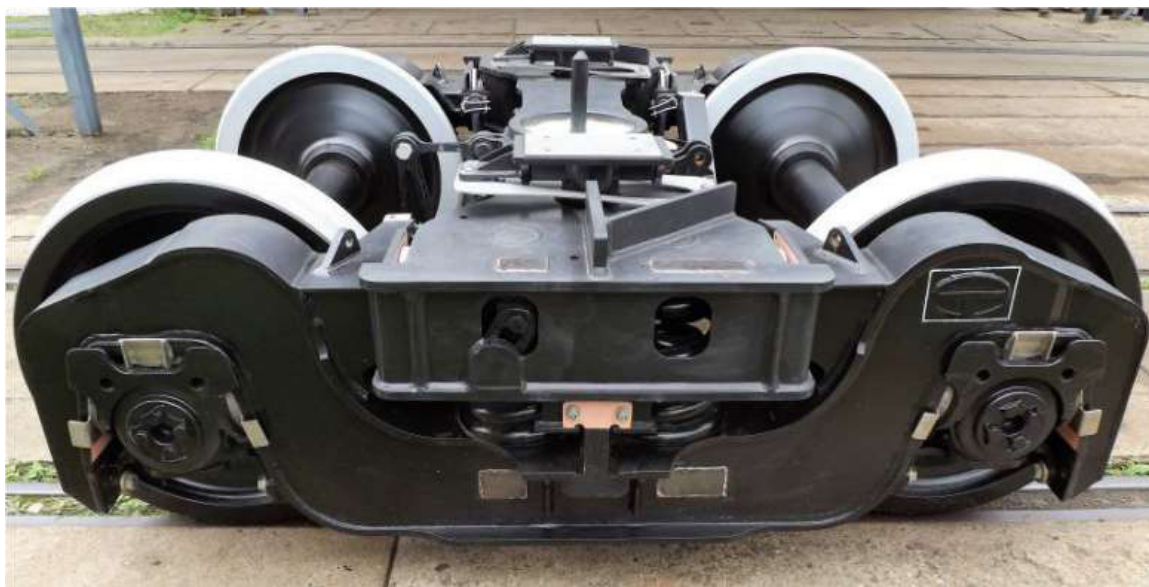


*Рис. 1.* Тележка модели 18-9999

В качестве теплоизоляционного материала широкое применение получил полиизоцианурат. Данный материал покрывается с двух сторон алюминиевой фольгой, известен в различных источниках информации под названием PIR-плита. Сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов приведены в Таблице [4].

*Таблица*

Сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов

| Характеристика                        | Полистирол                       | Пенопласт                        | PIR-плита |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|
| Коэффициент теплопроводности (Вт/м·К) | 0,04                             | 0,05                             | 0,021     |
| Гигроскопичность                      | +                                | +                                | –         |
| Паропроницаемость                     | +                                | +                                | –         |
| Биологические поражения               | Плесень, уязвимость для грызунов | Плесень, уязвимость для грызунов | Нет       |
| Срок службы                           | 25                               | 15                               | 50        |

Проведенные авторами предварительные теплотехнические расчеты показали, что при одинаковой толщине слоя применяемой теплоизоляции, приведенный коэффициент теплопередачи ограждения кузова уменьшается до 40% по сравнению с полистиролом. Это позволяет существенно сократить теплопритоки.

Одной из наиболее удовлетворяющих вышеперечисленным требованиям систем охлаждения являются аммиачная абсорбционная холодильная установка, работа которой (рис. 2) заключается в том, что аммиак поглощается водой в абсорбере 9. Далее водо-аммиачный раствор поступает в кипятильник 1, где происходит нагревание и аммиак за счет более низкой температуры кипения испаряется и через разделительную камеру 2 поступает в конденсатор 4. В конденсаторе 4 хладагент кипит и переходит в жидкое агрегатное состояние, перетекая по трубопроводу 6 через дроссельное отверстие в испаритель 7. При закипании в испарителе аммиак охлаждает холодильную камеру и по трубопроводу 8 возвращается в абсорбер, где хладагент растворяется в воде и цикл повторяется.

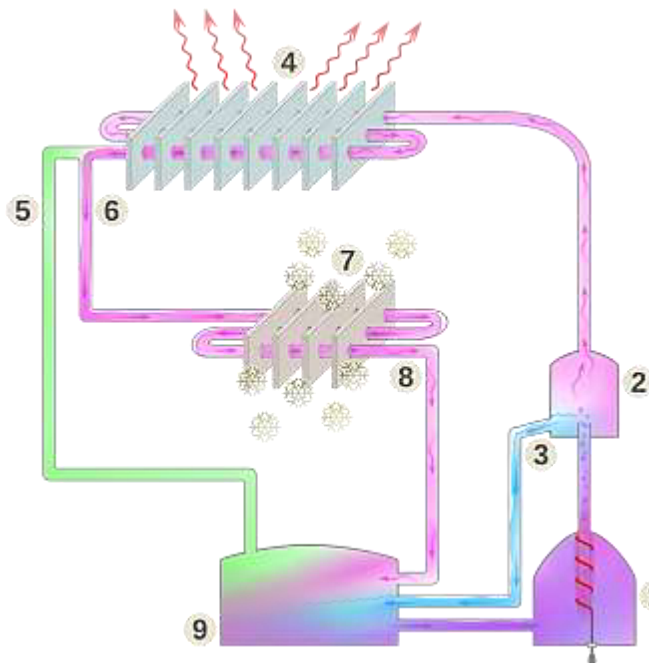


**Рис. 2.** Схема работы абсорбционной машины без насоса

Предлагается использовать комбинированный нагрев кипятильника 9. При движении по электрифицированным участкам пути кипятильник нагревается электрическими тепло-нагревательными элементами. Питание холодильной установки будет происходить от контактной сети через токоприемник электровоза, а далее по высоковольтной магистрали, проложенной под вагоном и высоковольтные электрические междвагонные соединения. По аналогии с комбинированным отоплением пассажирских вагонов [2].

На не электрифицированных участках пути предлагается использовать сжиженный или сжатый природный газ, который будет поджигаться автоматически в случае отсутствия электрического питания. Также в будущем можно рассмотреть возможность преобразования сконденсированной воды для электролиза и последующего использования в качестве топлива.

Электроэнергию необходимую для питания системы автоматики также можно получить от термоэлектрических источников без необходимости установки механических генераторов.



Надежность и долговечность абсорбционных холодильных установок существенно выше компрессионных холодильных машин за счет отсутствия механических узлов. Это позволит отказаться от сервиса на специализированных пунктах технического обслуживания изотермических вагонов с привлечением высококвалифицированного персонала как это было ранее. Кроме того, еще одним значимым преимуществом применения газа в качестве источника питания является его, по сравнению с дизельным топливом, гораздо более низкая привлекательность для хищения.

Идея применения абсорбционных холодильных установок на рефрижераторном подвижном составе уже прорабатывалась. Выполнены расчеты для абсорбционной холодильной машины, проект которой был разработан в СССР для автономных рефрижераторных вагонов [1].

Пример построения характеристик абсорбционной холодильной машины для трех основных режимов работы машины по кипению в диапазоне температур конденсации  $10 \dots 50^\circ\text{C}$  приведен на рис. 3.

Абсорбционная холодильная машина имела следующие расчетные параметры: холодопроизводительность в режиме  $t_0 = 5^\circ\text{C}$ ,  $t_K = 45^\circ\text{C}$  или  $14000$  ккал/ч, теплота генерации  $31000$  ккал/ч, расход аммиака  $285$  кг/ч. КПД такой холодильной установки равен  $0,64\text{--}0,67$ . Полученные расчетные параметры существенно проигрывали парокомпрессионным холодильным машинам и не получили широкого применения.

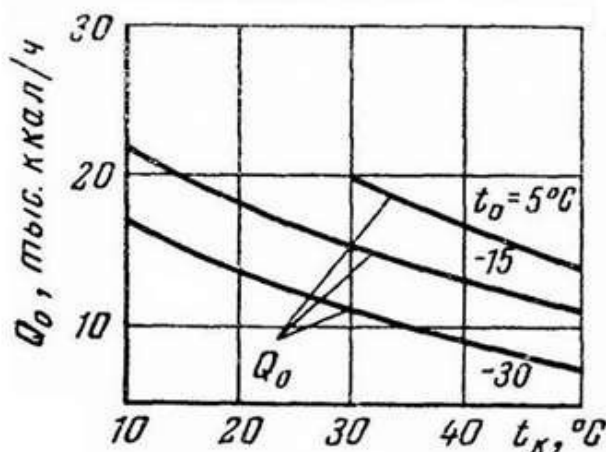


Рис. 3. Характеристики абсорбционной холодильной машины

Применение последних достижений в науке и технике при производстве кузова вагона с инновационными теплоизоляционными материалами существенно снизит требуемую холодопроизводительность для поддержания заданных температурных условий перевозки скоропортящихся грузов, что, в свою очередь, позволяет вернуться к идее применения аб-

сорбционных холодильных машин на железнодорожном рефрижераторном подвижном составе, отвечающего современным условиям эксплуатации и экономики.

*Библиографический список*

1. Сапожников, С. А. Абсорбционные машины на хладотранспорте / С. А. Сапожников, Р. Л. Данилов, К. Б. Зибель. – Москва : Труды ВНИИ вагоностроения. – Выпуск 9. – 1969. – Текст : непосредственный.
2. Энергетическое оборудование пассажирских вагонов и вагоноремонтных предприятий : методические указания / Н. Л. Иванов. – Екатеринбург : УрГУПС, 2016. – 73, [3] с. – Текст : непосредственный.
3. Инновационная тележка двухосная грузовых вагонов. – URL : <https://www.express-i.ru/>. – Дата доступа: 14.10.2024. – Текст : электронный.
4. Утеплитель PIR: характеристики и вопросы выбора. – URL : <https://pirgroup.ru/>. – Дата доступа: 14.10.2024. – Текст : электронный.
5. Ларченко, Е. А. Расчёт стоимости жизненного цикла на отдельные узлы подвижного состава железнодорожного транспорта / Е. А. Ларченко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Том 2. – С. 374–378. – Текст : непосредственный.

***Т. В. Волчек, В. С. Томилов***

*Красноярский институт железнодорожного транспорта,  
г. Красноярск, Россия*

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА  
КОЛЛЕКТОРНЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ  
ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА  
В УСЛОВИЯХ СЕРВИСНОГО ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО**

*В статье представлен анализ отказов оборудования электровозов переменного тока приписки к Красноярской дирекции тяги. Выявлено, что наибольшее количество отказов происходит по вине сервисного локомотивного депо из-за некачественного ремонта. Рассмотрен процесс ремонта и приемо-сдаточных испытаний тягового электродвигателя, выявлены недостатки. Предлагается усовершенствовать стенд для приемо-сдаточных испытаний путем автоматизации процесса проверки коммутации и создания условий, подобным переходным процессам при эксплуатации локомотивов.*

*Ключевые слова: тяговый электродвигатель, коммутация, приемо-сдаточные испытания, искрение, отказ.*



Восточный полигон является ключевым элементом транспортной инфраструктуры для развития экономики регионов Сибири и Дальнего Востока, обеспечивая связь с другими частями страны и экспортными рынками. До 2035 года, согласно задачам стратегических документов, грузооборот на Восточном полигоне необходимо увеличить до 30 % [1]. В настоящее время организуется движение грузовых поездов весом 7100 тонн, планируется его увеличение до 8800 тонн. Увеличение показателей массы состава вызывает повышение нагрузок на оборудование электровозов, что снижает его надежность.

В связи с этим актуальной задачей ОАО «РЖД» является развитие и обновление тягового подвижного состава, а также усовершенствование технологических процессов по его обслуживанию. В настоящее время на Восточном полигоне эксплуатируются электровозы переменного тока с коллекторным приводом серии «Ермак», которые пришли на смену ВЛ80Р. На сегодняшний день к Красноярской дирекции тяги приписано 8 электровозов серии Э5К, 33 электровоза серии 2ЭС5К и 362 электровоза серии 3ЭС5К. Согласно статистики отказов в работе технических средств локомотивного комплекса Красноярской дирекции тяги за 2023 год произошло 3665 отказов. Около 50 % (1848 отказов) отнесено за сервисными локомотивными депо (СЛД) ООО «ЛокоТех», 1621 отказ за предприятиями «Рослокомотив», 77 отказов за Дирекцией по ремонту подвижного состава (ТР), 76 отказов за локомотиворемонтными заводами и 43 отказа отнесено за Красноярской дирекцией тяги (КрасТ), рис. 1.

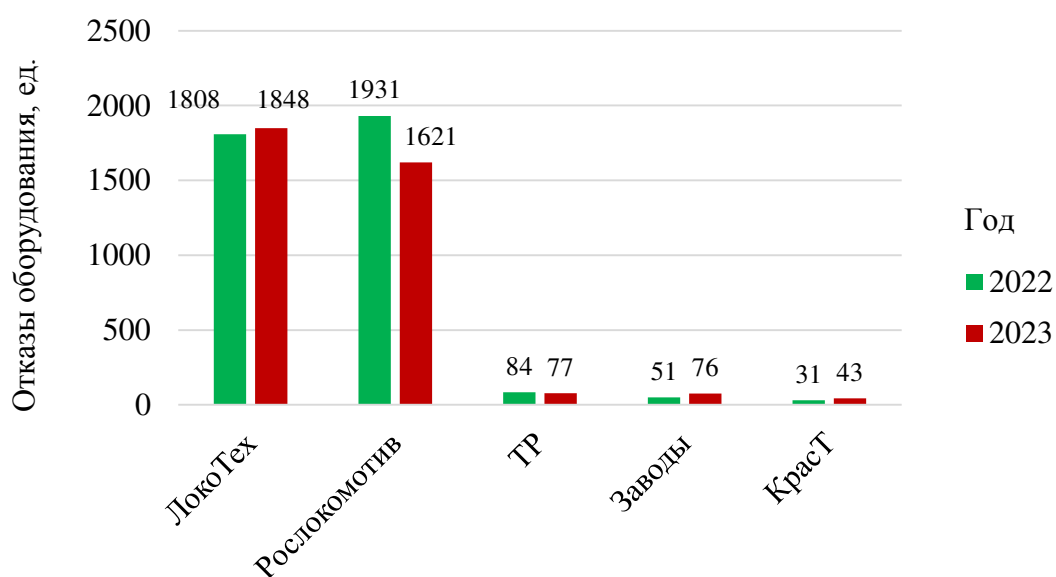


**Рис. 1.** Диаграмма допущенных отказов технических средств локомотивов, распределённых по ответственности

Согласно статистическому анализу отказов технических средств по видам оборудования электровозов серии «Ермак» приписки к Красноярской дирекции тяги выявлено, что около 75 % отказов допускается по причине неисправности электрического, силового оборудования и механической части. Одним из проблемных узлов в электровозе является тяговых электродвигатель (ТЭД). На его долю приходится около 50 % отказов из общего числа неисправностей силового оборудования. Основной причиной является переброс электрической дуги по коллектору (круговой огонь), возникающий при нарушении процесса коммутации [2].

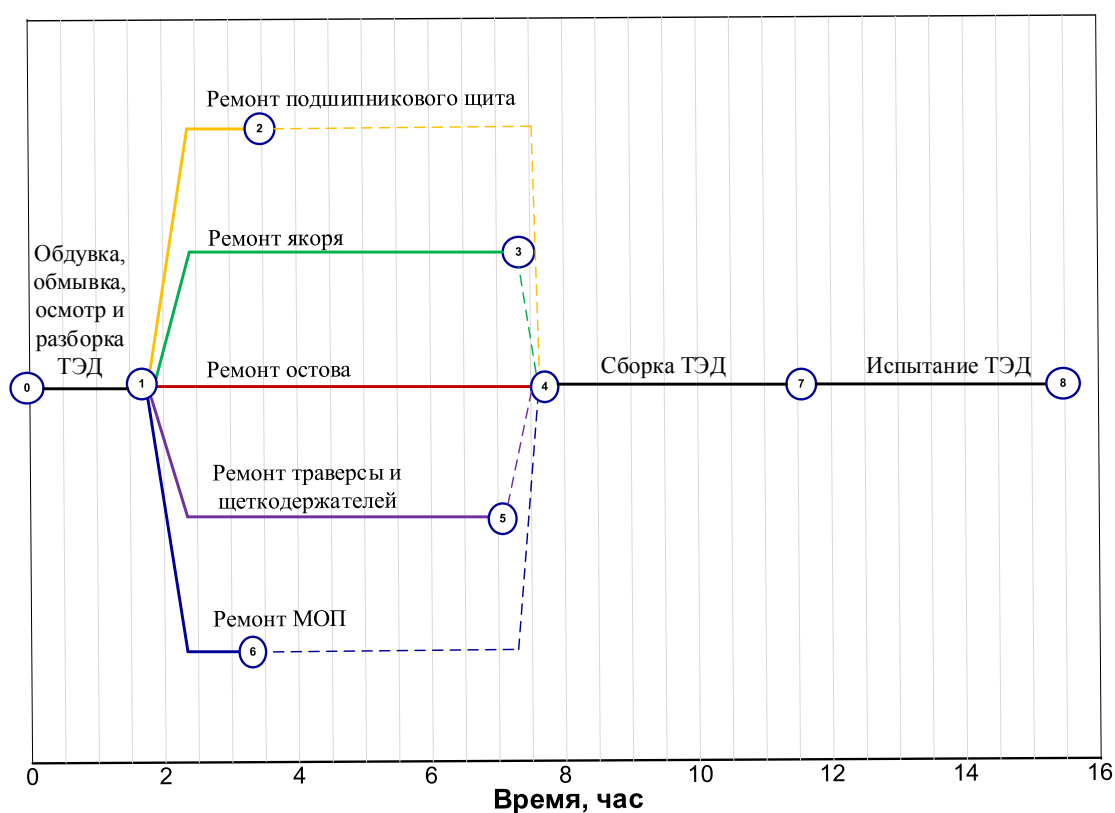


**Рис. 2.** Сетевой график ремонта ТЭД верхнего уровня

Процесс ремонта ТЭД представлен на рис. 2. Перед тем как произвести разборку ТЭД, его необходимо обмыть, продуть и провести виброакустическую диагностику и измерение таких параметров, как сопротивление изоляции, разбег и радиальные зазоры роликовых подшипников. После разборки ТЭД, выполняется параллельно ремонт составных его частей (якоря, остова, подшипниковых щитов, траверсы и щеткодержателей, моторно-осевых подшипников (МОП)). Ремонт остова занимает самое продолжительное время. Далее все отремонтированные элементы транспортируются на участок сборки ТЭД. Известно, что каж-

дый отремонтированный ТЭД должен подвергаться приемо-сдаточным испытаниям с целью подтверждения его соответствия установленным требованиям. ТЭД после ремонта испытывают на холостом ходу для проверки его вибрации, на нагрев под нагрузкой, на повышенную частоту вращения, а также проверяют электрическую прочность изоляции обмоток ТЭД и его коммутацию.

В СЛД «Боготол-Сибирский» испытание ТЭД производится на полноразмерном стенде под напряжением контактной сети, осуществляющем режим их взаимонагрузки, рис. 3-4 [3].



**Рис. 3.** ТЭД, включённые методом взаимной нагрузки



**Рис. 4.** Пульт управления испытательной станцией СЛД «Боготол-Сибирский»  
Красноярской железной дороги

В настоящее время, проверка коммутации осуществляется слесарем способом визуальной оценки степени искрения через смотровое окно в ТЭД. Данный метод является субъективным и может приводить к ошибочным результатам [4]. Также испытания ТЭД проводятся только в стационарных режимах его работы, но следует учитывать, что процесс коммутации зачастую нарушается при возникающих в пути следования переходных процессах, поэтому важно при проведении приемосдаточных испытаний создавать подобные условия.

Таким образом, для того чтобы повысить качество ремонта необходимо усовершенствовать стенд для испытания ТЭД после ремонта. В связи с этим предлагается автоматизировать процесс проверки коммутации, за счет установки датчика сигнализатора искрения в отверстие смотрового люка ТЭД, что позволит автоматически определять степень искрения. А также предлагается при испытании ТЭД создавать условия работы подобные переходным процессам, что позволит улучшить проверку коммутации и качественнее ее настроить.

#### *Библиографический список*

1. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года [утверждена распоряжением Правительством РФ от 19.03.2019 г. № 466р]. – Текст : непосредственный.
2. Волчек, Т. В. Возникновение трансформаторной ЭДС в секциях якоря тягового электродвигателя электровоза переменного тока в режимах полного и ослабленного поля и пути ее снижения / Т. В. Волчек, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, С. Г. Шрамко. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 1 (77).
3. Томилов, В. С. Повышение эффективности режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока : специальность 2.9.3 : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / В. С. Томилов. – 2022. – 154 с. – Текст : непосредственный.
4. Харламов, В. В. Диагностирование состояния коммутации коллекторных электродвигателей с использованием прибора ПКК-5М / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, А. П. Афонин. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба, 2011. – № 3 (7). – С. 52–57.
5. Ларченко, Е. А. Сервисное обслуживание тягового подвижного состава на современном уровне / Е. А. Ларченко, А. В. Ларченко. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2018. – Том 2. – С. 267–273.

**Т. В. Иванова, А. Ф. Голиков**

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

**А. В. Притупов**

*Забайкальская дирекция тяги, ОАО «РЖД»*

## **ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОКОМОТИВОВ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК И РАНГОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ**

*В статье выполнен ретроспективный анализ основных неисправностей электровоза и их влияние на надежность функционирования локомотивного хозяйства в целом. В качестве математического аппарата предложен метод экспертных оценок и ранговой корреляции, позволяющий определить степень согласованности экспертов при выборе и обосновании факторов, влияющих на безопасную эксплуатацию локомотива.*

*Ключевые слова: электровоз, отказ, ранжирование факторов, ранговая корреляция, моторвагонный подвижной состав, рентгенография, безопасность движения.*

Технические характеристики и конструктивные особенности локомотивов существенно влияют на условия их использования и безопасность железнодорожного транспорта в целом. Локомотивный комплекс представляет собой область с высоким уровнем риска. Обеспечение безопасности на железных дорогах зависит от множества задач, выполняемых локомотивными службами. Состояние локомотивов и их эксплуатационные характеристики играют ключевую роль в поддержании необходимых стандартов безопасности и эффективном функционировании транспортной системы в целом. Поэтому важно уделять внимание как техническим, так и эксплуатационным аспектам в соответствии с современными требованиями и стандартами безопасности:

- организация труда и отдыха локомотивных бригад;
- повышение квалификации локомотивных бригад;
- сервисное обслуживание локомотивов;
- усовершенствование приборов безопасности;
- разработка новых улучшенных серий локомотивов.

Решение вопросов безопасной эксплуатации тягового подвижного состава невозможно без прогнозирования случаев нарушений безопасности движения и построения математических моделей распределения отказов.

Как показал ретроспективный анализ, значительная доля отказов приходится на электрооборудование, дизель и дизельное оборудование, тормозное и пневматическое оборудование.

Распределение случаев нарушений безопасности движения поездов по отказам узлов и деталей локомотива представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Структура отказов технических средств локомотивов по видам оборудования в долевых значениях на сети дорог

Значительная доля отказов приходится на электрическое оборудование, аппараты цепей управления и защиты – 18 случаев. Основными причинами отказов по аппаратам цепей управления явились:

- подгар контактов промежуточных реле;
- неисправность регулятора напряжения;
- неисправность блокировки КМЭ;
- неисправность кнопочных выключателей;
- низкий заряд аккумуляторных батарей.

По аппаратам защиты основные причины отказов следующие:

- подгар контактов и излом текстолитовой тяги 208 контактора, блокировочных контакторов реверса;
- переброс электрической дуги по ножам РВН, оплавление разрывных контактов ЛК, неисправность токоприёмника.



На втором месте – отказы по автотормозному оборудованию. Причиной выхода из строя автотормозного оборудования являются: износ манжеты уравнильного поршня, неисправности предохранительного клапана, обрыв соединительных рукавов, разрегулировка ТРП.

Неисправности по механической части стоят на третьем месте по частоте случаев. Основными неисправностями механической части являются:

- износ тормозных колодок;
- отсутствие крепления КЗП;
- проворот бандажа колесной пары;
- нагрев буксового узла;
- отсутствие регулировочного болта;
- неисправность тягового редуктора.

Метод экспертных оценок и ранговой корреляции позволил определить наиболее значимые факторы, влияющие на безопасную эксплуатацию подвижного состава [4].

Группы экспертов классифицировались по степени согласия на основании коэффициента вариации. В исследовании был принят коэффициент вариации  $v=0,20$ , а размер требуемой относительной точности составил  $E = 0,15$ , что означает допустимую ошибку в 15 %. Таким образом, минимальное количество экспертов в группе составило  $m \geq \approx 90$ . Эксперты классифицировали факторы по влиянию на функционирование локомотивного хозяйства, присваивая ранг 1 наиболее значимому. В случаях неразделимости влияния факторов им могли быть присвоены одинаковые ранги.

Рассматривались следующие факторы:

- $x_1$  – невыполнение регламента переговоров;
- $x_2$  – неисправность электрооборудования;
- $x_3$  – неисправность аппаратов защиты;
- $x_4$  – срабатывание ГВ, отключение ГВ;
- $x_5$  – неисправность крышевого оборудования;
- $x_6$  – пережег контактного провода на нейтральной вставке;
- $x_7$  – утечка воздуха в питательной магистрали электровоза;
- $x_8$  – неисправность автотормозов компрессора;
- $x_9$  – обрыв автосцепки;
- $x_{10}$  – не наблюдение локомотивной бригадой за показаниями сигналов;
- $x_{11}$  – заклинивание колёсной пары;
- $x_{12}$  – неисправность крана машиниста;
- $x_{13}$  – нет набора позиций;
- $x_{14}$  – неисправность электрических машин;



При многофакторном анализе учитывалось мнение многих специалистов. При этом оценка средней степени согласованности этих специалистов осуществлялась по коэффициенту конкордации [1–3].

$$W = \frac{S}{1/12 * m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i}, \quad (1)$$

где

$$S = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^m x_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}}{n} \right)^2, \quad (2)$$

$m$  – количество экспертов;

$n$  – количество ранжируемых факторов.

В случае полного совпадения мнения специалистов  $W=1$ , при несовпадении  $W=0$ . Таким образом, значение коэффициента конкордации может изменяться в пределах:  $0 \leq W \leq 1$ .

*Таблица 1*

**Результаты опроса и ранжирования факторов (фрагмент)**

| Эксперты                           | Факторы        |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 | $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}$ |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
|                                    | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> | X <sub>11</sub> | X <sub>12</sub> | X <sub>13</sub> | X <sub>14</sub> |                                    |
| <b>1</b>                           | <b>2</b>       | <b>3</b>       | <b>4</b>       | <b>5</b>       | <b>6</b>       | <b>7</b>       | <b>8</b>       | <b>9</b>       | <b>10</b>      | <b>11</b>       | <b>1</b>        | <b>13</b>       | <b>14</b>       | <b>15</b>       | <b>16</b>                          |
| 1                                  | 7              | 3              | 3              | 2              | 8              | 1              | 4              | 6              | 4              | 9               | 12              | 11              | 12              | 13              | 92                                 |
| 2                                  | 13             | 4              | 5              | 1              | 6              | 1              | 8              | 7              | 5              | 6               | 10              | 11              | 12              | 13              | 105                                |
| 3                                  | 14             | 2              | 4              | 3              | 7              | 2              | 6              | 6              | 4              | 9               | 8               | 10              | 11              | 12              | 93                                 |
| 4                                  | 13             | 1              | 6              | 6              | 5              | 3              | 6              | 7              | 4              | 14              | 4               | 10              | 11              | 12              | 105                                |
| 5                                  | 9              | 5              | 1              | 1              | 2              | 3              | 3              | 6              | 5              | 6               | 7               | 7               | 9               | 10              | 71                                 |
| m                                  | ...            | ...            |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 | ...                                |
| m+1                                | ...            | ...            |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 | ...                                |
| 100                                | 11             | 1              | 2              | 7              | 3              | 4              | 2              | 5              | 7              | 6               | 6               | 10              | 12              | 9               | 81                                 |
| $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}$ | 864            | 195            | 207            | 158            | 479            | 312            | 520            | 683            | 469            | 730             | 786             | 958             | 1023            | 1145            | 8529                               |

*Таблица 2*

**Матрица рангов (фрагмент)**

| Эксперты | Факторы        |                |                |                |                |                |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 | $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}$ |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
|          | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>5</sub> | X <sub>6</sub> | X <sub>7</sub> | X <sub>8</sub> | X <sub>9</sub> | X <sub>10</sub> | X <sub>11</sub> | X <sub>12</sub> | X <sub>13</sub> | X <sub>14</sub> |                                    |
| <b>1</b> | <b>2</b>       | <b>3</b>       | <b>4</b>       | <b>5</b>       | <b>6</b>       | <b>7</b>       | <b>8</b>       | <b>9</b>       | <b>10</b>      | <b>11</b>       | <b>12</b>       | <b>13</b>       | <b>14</b>       | <b>15</b>       | <b>16</b>                          |
| 1        | 8              | 3              | 5              | 1,5            | 8              | 1,5            | 6              | 7              | 5              | 10              | 11              | 12              | 13              | 14              | 105                                |
| 2        | 14             | 3              | 5              | 2              | 8              | 1              | 9              | 7              | 5              | 6               | 10              | 11              | 12              | 13              | 105                                |

Окончание табл. 2

| 1                                  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12   | 13   | 14   | 15   | 16    |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|
| 3                                  | 14  | 4   | 2,5 | 1   | 8   | 2,5 | 6   | 7   | 5   | 10  | 9    | 11   | 12   | 13   | 105   |
| 4                                  | 12  | 1   | 5   | 2   | 8   | 3   | 6   | 7   | 4   | 14  | 9    | 10   | 11   | 12   | 105   |
| 5                                  | 11  | 3,5 | 1,5 | 1,5 | 3,5 | 5   | 6   | 8,5 | 7   | 8,5 | 10,5 | 10,5 | 13   | 14   | 105   |
| m                                  | ... | ... |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | ...   |
| m+1                                | ... | ... |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      | ...   |
| 100                                | 13  | 1,5 | 3,5 | 1,5 | 3,5 | 6   | 7   | 5   | 9   | 8   | 10   | 12   | 14   | 11   | 105   |
| $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij}$ | 306 | 250 | 271 | 194 | 596 | 435 | 660 | 712 | 713 | 897 | 981  | 1140 | 1264 | 1328 | 11600 |

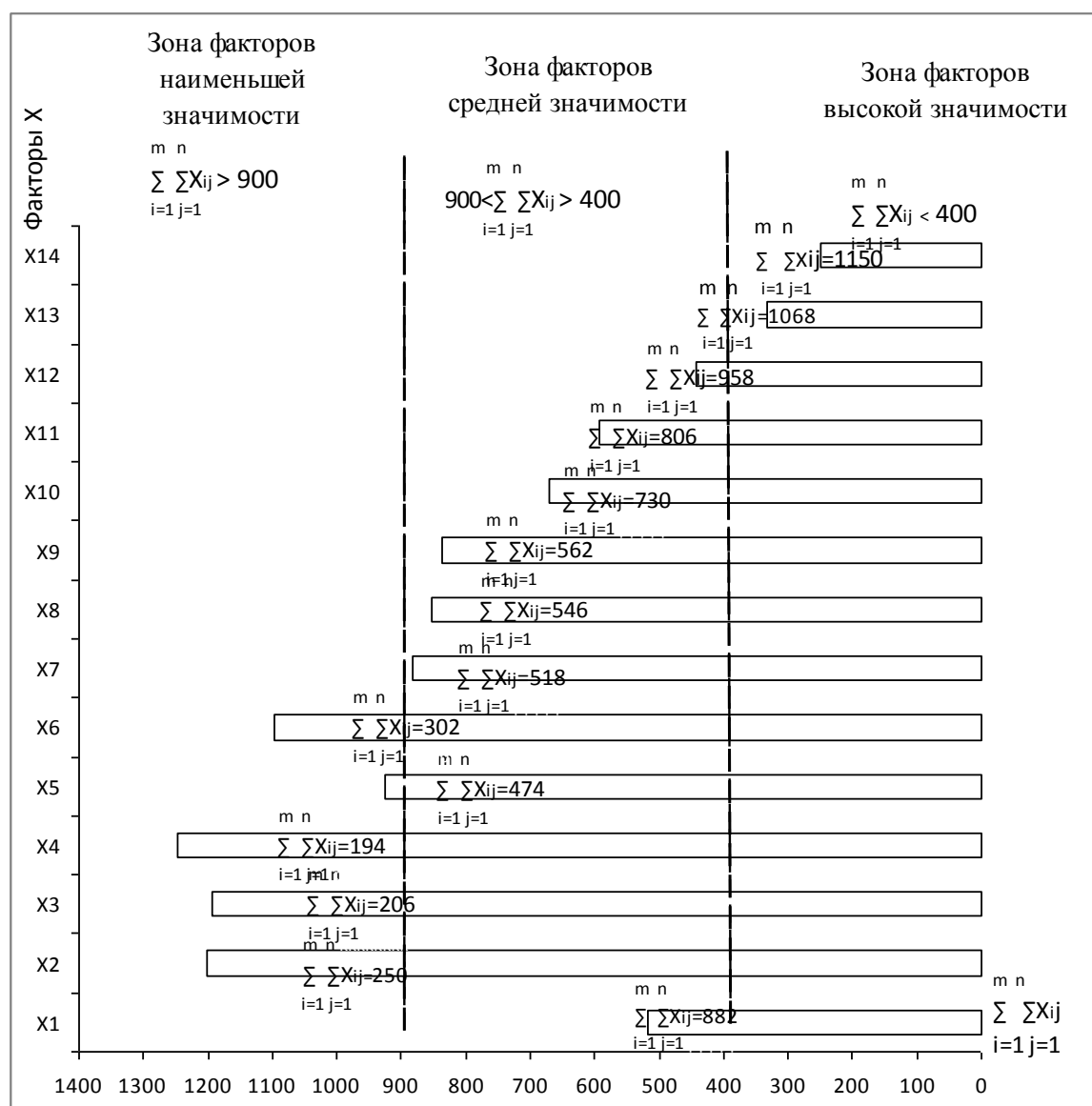


**Рис. 2.** Гистограмма распределения сумм рангов факторов, влияющих на условия безаварийной работы локомотивного хозяйства и безопасность движения

В процессе исследования была построена гистограмма распределения сумм рангов (рис. 2). Эта оценка факторов не случайна, так как отражает мнение экспертов о значительном влиянии неисправностей на эксплуатацию локомотивов и безопасность движения [5].

Таким образом, привлечение опытных специалистов для ранжирования факторов, влияющих на безопасность движения, и использование математической статистики позволили провести глубокий анализ основных неисправностей подвижного состава и их влияние на надежность функционирования локомотивного хозяйства в целом

#### *Библиографический список*

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статика : учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – Москва : Высшая школа, 2000. – 479 с. – Текст : непосредственный.
2. Елисеева, И. И. Общая теория статистики / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев. – Москва, 1995. – 368 с. – Текст : непосредственный.
3. Халафян, А. А. Статистический анализ данных : учебник / А. А. Халафян. – Издание 3-е. – Москва : ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с. – Текст : непосредственный.
4. Гордиенко, И. А. Статистическая оценка наработки до отказа полувагонов в межремонтном периоде / И. А. Гордиенко, Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин. – Текст : непосредственный // Вагоны и вагонное хозяйство, 2014. – № 4. – С. 44–46.
5. Пономарёв, В. М. Математическое моделирование отказов ходовых частей подвижного состава как основа безаварийной работы железнодорожного транспорта / В. М. Пономарёв, В. А. Рудаков. – Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2008. – № 1. – С. 67–70.
6. Ларченко, Е. А. Расчёт стоимости жизненного цикла на отдельные узлы подвижного состава железнодорожного транспорта / Е. А. Ларченко. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Том 2. – С. 374–378.
7. Ларченко, Е. А. Расчётное экономическое обоснование корректировки оптимального срока службы подвижного состава с учётом морального старения / Е. А. Ларченко, Д. Г. Налабордин. – Текст : непосредственный // Материалы Всероссийской заочной научно-практической конференции, г. Чита – ЗаБИЖТ. – 2017. – С. 169–176.

*Т. В. Иванова, В. А. Рудаков, Д. Р. Пляскин  
Забайкальский институт железнодорожного транспорта,  
г. Чита, Россия*

*Д. Г. Налабордин  
ВРД Чита, Россия*

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН СВЕРХНОРМАТИВНЫХ ПРОСТОЕВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ТЕКУЩЕМ РЕМОНТЕ**

*В статье рассмотрены причинно-следственные связи простоев грузовых вагонов в неисправном состоянии. Исследованы различные сценарии простоя вагонов на выполнение текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов. Предложены мероприятия по повышению производственных мощностей пунктов текущего отцепочного ремонта и пунктов подготовки вагонов к перевозкам.*

*Ключевые слова: грузовой вагон, текущий отцепочный ремонт, простой.*

В настоящее время существующие проблемы текущего отцепочного ремонта вагонов характеризуются нерегламентированными простоями, недостаточной автоматизацией технологических процессов. Общий простой вагона рассматривается с момента перевода вагона в нерабочий парк по причине технического состояния и до окончания ремонта.

Неисправности простого вагона могут быть вызваны разнообразными факторами. На сегодняшний день эти факторы условно можно разделить на три ключевые категории:

- технические,
- организационные
- экономические.

Рассмотрим каждую из этих категорий более детально.

Технические причины связаны с состоянием самого оборудования, его износом или неправильным использованием. Эти аспекты могут значительно влиять на эффективность работы вагона.

Под *техническими* причинами авторы понимают явления, процессы и события, приведшие к сверхнормативному простоя вагона в текущем ремонте, обусловленные низким уровнем функционирования пунктов ТОР. В данном случае ответственность (юридическая и экономическая) за непроизводительный простой вагона в ремонте учитывается за вагонными эксплуатационными депо.

К техническим причинам авторы относят:

- необеспеченность запасными частями пунктов ТОР;
- завышенный остаток вагонов в нерабочем парке по техническим причинам;
- невыполнение заявок на постановку вагонов в ТОР;
- несоответствие явочного контингента работников расчетным значениям;
- несоответствие технической оснащенности пунктов ТОР требованиям регламентов;
- низкую квалификацию кадрового персонала.

Организационные причины часто связаны с недостатком планирования и координации между различными отделами или службами. Отсутствие четкой организации может приводить к задержкам в обслуживании и ремонте.

Под *организационными* причинами авторы понимают явления, процессы и события, приведшие к сверхнормативному простоя вагона в текущем ремонте и обусловленные соблюдением требований договорных обязательств по производству ремонта вагона. В данном случае ответственность за непроизводственный простой вагона в ремонте ложится на собственника подвижного состава.

К организационным причинам автор относятся

- организацию ремонта узлов и деталей вагонов по не обезличенному принципу (демонтаж, ремонт и установка дефектного узла на один и тот же вагон);
- организацию ремонта вагонов по принципу замены, дефектных деталей и узлов, поставляемых собственником вагона (ремонтпригодных или заранее отремонтированных);
- организацию пересылки неисправных вагонов (по просьбе собственников подвижного состава) на смежные ремонтные или эксплуатационные предприятия для производства ремонта;
- наличие дебиторской задолженности за ранее отремонтированные вагоны;
- согласование вопросов, связанных с перегрузом вагонов.

Экономические факторы включают в себя финансовые ограничения, которые могут помешать своевременному обновлению и ремонту вагонов. Нехватка бюджета часто приводит к тому, что недостаточное внимание уделяется необходимым техническим условиям.

Таким образом, причины неисправности простоя вагона представляют собой сложную совокупность различных аспектов, каждая из которых требует отдельного анализа и внимания. Графическая модель простоя вагона в ТОР представлена на рис. 1.

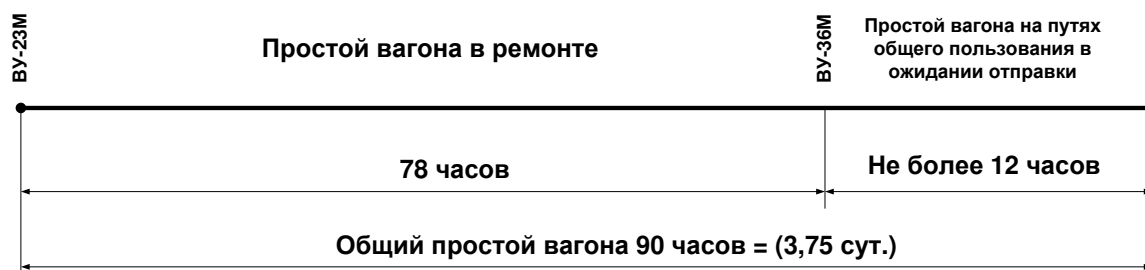


Рис. 1. Простой грузового вагона в ТОР по сценарию № 1

Однако, часто возникают ситуации, когда ремонт вагона невозможно своевременно произвести ввиду отсутствия исправных запасных частей. При этом неисправные узлы вагона ремонтнопригодны только в условиях ремонтного депо. При таком «сценарии» время пребывания вагона в нерабочем парке составляет более 114 часов (+ время на транспортировку и ремонт неисправных узлов деталей).

Общий простой вагона складывается из следующих составляющих:

- времени на оценку технического состояния вагона, оформление акта-браковки, извещение Заказчика о необходимости ремонта узлов и деталей (24 часа);
- времени на транспортировку узлов и деталей в ремонтное депо и обратно;
- времени ремонта деталей и узлов вагона в ремонтном депо;
- времени ожидания и производства текущего ремонта вагона (78 часов).

Графическая модель простоя вагона в ТОР представлена на рис. 2.

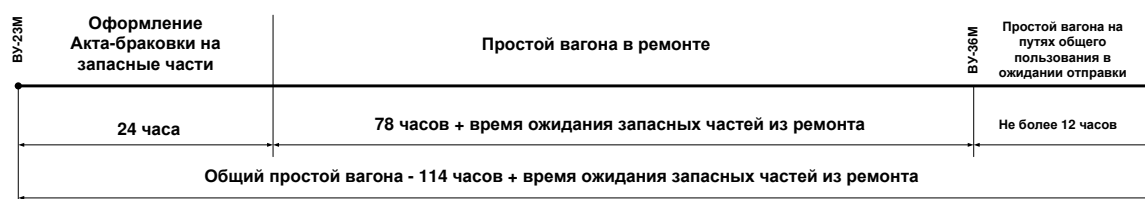


Рис. 2. Простой грузового вагона в ТОР по сценарию № 2

Общий простой вагона складывается из следующих составляющих:

- недостаточное времени на комплексную оценку технического состояния вагона
- ошибки при оформлении акта браковки или извещений
- простой в ожидании запасных частей для ремонта

Графическая модель простоя вагона в ТОР представлена на рис. 3.



## РАЗДЕЛ 1. Подвижной состав железных дорог (электровагоны, тепловозы и вагоны)

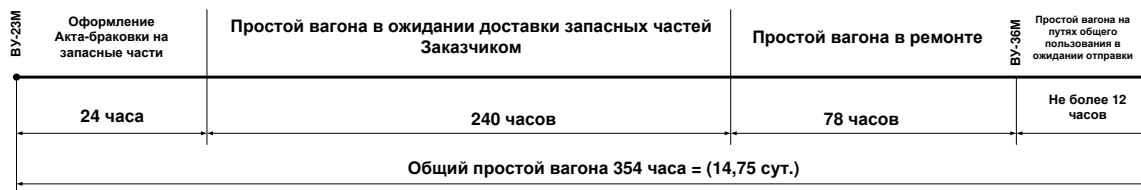


Рис. 3. Простой грузового вагона в ТОР по сценарию № 3

Таким образом, из проведенного анализа возможных вариантов простоев вагонов в текущем ремонте можно сделать вывод о том, что в настоящее время эксплуатационными предприятиями вагонного хозяйства не обеспечиваются нормативы простоя грузовых вагонов в текущем ремонте. В данной связи необходимо:

- для повышения производственных мощностей пунктов ТОР и ППВ выполнять их комплексное техническое перевооружение (внедрение вагоноремонтных машин порталного типа, механизированных мастерских и т.д.);

- при реконструкции станций предусматривать создание путей накопления неисправных вагонов исходя из расчетных объемов ремонта в непосредственной близости к пунктам ТОР вагонов;

- внедрять современные специализированные средства доставки запасных частей с использованием различных видов транспорта (доставка колесных пар на специализированных полуприцепах вместимостью 20–30 шт. и т.д.).

### Библиографический список

1. Устич, П. А. Экономический расчёт периодичности плановых ремонтов грузовых вагонов : методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Вагонное хозяйство» / П. А. Устич, А. А. Иванов, И. В. Плотников. – Москва : МИИТ. – 2006. – 44 с. – Текст : непосредственный.

2. Болотин, М. М. Отказы и срок службы грузового вагона / М. М. Болотин, В. Г. Воротников // Мир транспорта. – 2012. – № 2. – С. 152–161. – Текст : непосредственный.

3. Петровых, В. А. Оптимизация назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации. – Текст : непосредственный / В. А. Петровых, Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2014. – № 2. – С. 40–42.

4. Данилов, А. А. Повышение эффективности организации производства системы эксплуатации и ремонта подвижного состава на основе мониторинга технического состояния грузовых вагонов : дисс. ... канд.

тех. наук: 05.22.01 / Данилов Алексей Александрович. – Н., 2005. – 128 с. – Текст : непосредственный.

5. Иванов, А. О. Улучшать технико-экономические показатели железнодорожной техники / А. О. Иванов. – Текст : непосредственный // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 2–3.

6. Иванова, Т. В. Оптимизация назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации / Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин, Е. А. Ларченко. – Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2015. № 11. – С. 60–68.

7. Ларченко, Е. А. Оптимизация транспортно-логистических процессов ремонта грузовых вагонов / Е. А. Ларченко, В. В. Степанов // Железнодорожный транспорт и технологии : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2024. – С. 20–27. – Текст : непосредственный.

**С. Г. Истомин, О. Д. Юрасов**

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

## **РАЗРАБОТКА ПРИБОРА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОГРАФИИ**

*В статье рассмотрены основные методы неразрушающего контроля, применяющиеся на железнодорожном транспорте. Представлены результаты неразрушающего контроля колесно-редукторных блоков моторвагонного подвижного состава ТЧ-34 Алтайская. Сформулированы недостатки магнитопорошкового контроля деталей и узлов. Описан новый метод неразрушающего контроля на основе рентгенографии. Предложена разработка роботизированной руки для применения рентгеновского аппарата АРИНА-9 для проведения неразрушающего контроля в условиях депо.*

*Ключевые слова: неразрушающий контроль, моторвагонный подвижной состав, рентгенография.*

Неразрушающий контроль – это проверка качества изделия без его разбора, демонтажа или разрушения. Для этого используются различные методы, которые позволяют проверять основные характеристики изделия без вмешательства в его целостность.

В отличие от неразрушающего контроля, разрушающий контроль обычно используется для определения пределов прочности и надежности изделия. В ходе такого контроля изделие гнут, ломают или полностью разрушают.

Методы неразрушающего контроля включают в себя:

- визуальный и измерительный контроль;
- радиационный контроль;
- ультразвуковой контроль;
- капиллярный контроль;
- магнитопорошковый контроль;
- вихретоковый контроль;
- акустико-эмиссионный контроль [1].

Каждый из этих методов имеет свои особенности и применяется в зависимости от материала, который нужно проверить, и типа дефектов, которые нужно выявить.

Неразрушающий контроль широко применяется в различных отраслях промышленности, таких как металлургия, энергетика, авиация, машиностроение, строительство, железнодорожный транспорт и другие. Он позволяет существенно повысить качество продукции и безопасность работы с материалами, а также сократить затраты на контроль качества и устранения дефектов.

Рассмотрим применение методов неразрушающего контроля на примере моторвагонного депо ТЧ-34 Алтайская.

На территории депо организован участок по проведению неразрушающего контроля литых деталей, представленный на рис. 1.



**Рис. 1.** Участок по проведению неразрушающего контроля литых деталей



**Рис. 2.** Прибор КУ-140 для проведения магнитного неразрушающего контроля

Виды неразрушающего контроля, применяемые в лаборатории неразрушающего контроля моторвагонного депо Алтайская:

1. Магнитный вид неразрушающего контроля – основан на регистрации магнитных полей рассеяния дефектов или магнитных свойств контролируемого объекта. Его применяют для контроля объектов из ферромагнитных материалов. Процесс намагничивания ферромагнитного материала сопровождается гистерезисными явлениями, свойства которых требуются контролировать, обычно связаны с параметрами процесса намагничивания и петлей гистерезиса, измеряя которые можно сделать вывод о наличии тех или иных отклонений от заданных параметров изделия. На рис. 2 представлен прибор КУ-140 для проведения магнитного неразрушающего контроля.



**Рис. 3.** Прибор УД2-102  
для проведения акустического  
неразрушающего контроля

2. Акустический вид неразрушающего контроля – основан на регистрации параметров упругих колебаний, возбужденных в контролируемом объекте. Данный вид контроля позволяет обнаружить неоднородности структуры, определять механические характеристики материалов, анализировать напряженное состояние и решать широкий круг производственных проблем контроля и диагностики. На рис. 3 представлен прибор УД2-102 для проведения акустического неразрушающего контроля.

3. Электромагнитный вид неразрушающего контроля – основан на регистрации изменения взаимодействия собственного электромагнитного поля катушки с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых этой катушки в контролируемом объекте. Интенсивность и распределение вихревых токов в объекте зависят от его геометрических размеров, электротехнических и магнитных свойств материала, от наличия в материале нарушений сплошности, взаимного расположения преобразователя и объекта. На рис. 4 представлен прибор ВД-12НФП для проведения электромагнитного неразрушающего контроля.



Методы неразрушающего контроля применяемые в лаборатории неразрушающего контроля моторвагонного депо Алтайская:

1. Магнитопорошковый метод – основан на возникновении неоднородности магнитного поля над местом дефекта, данный метод позволяет выявлять поверхностные трещины, микротрещины, волосины, флокены и другие дефекты.

2. Вихретоковый метод – основан на взаимодействии собственного электромагнитного поля катушки с электромагнитным полем вихревых токов, данный метод позволяет выявлять нарушения сплошности, в основном трещины, на различных по конфигурации деталях, в том числе имеющих покрытия.

3. Ультразвуковой метод – основан на излучении в изделие и дальнейшее принятие отраженных ультразвуковых колебаний при помощи пьезоэлектрических пластин, данный метод позволяет выявлять как поверхностные, так и внутренние дефекты.

В 2022 г. в моторвагонном депо Алтайская при помощи средств неразрушающего контроля было проверено 90359 деталей МВПС, из них забраковано 152 детали, что составляет 0,17 %. По сравнению с 2021 г. уровень отбраковки почти не изменился (0,19 %). Даже при столь незначительных изменениях можно сказать, что с каждым годом количество забракованных деталей становится меньше, это связано с тем, что выросло качество верхнего и нижнего строения пути, повысился средний уровень профессионализма локомотивных бригад, улучшилось качество проведения ремонтных работ.

Результаты неразрушающего контроля колесно-редукторных блоков выглядят следующим образом.

В 2022 г. средствами неразрушающего контроля проверено:

- 849 осей колесных пар, из них забраковано 0 (0 %);
- 1626 бандажей, из них забраковано 0 (0 %);
- 1766 колесных центров (дисков), из них забраковано 60 (3,4 %);
- 569 зубчатых колес, из них забраковано 3 (0,5 %);



**Рис. 4.** Прибор ВД-12НФП для проведения электромагнитного неразрушающего контроля

- 477 малых шестерни, из них забраковано 0 (0,4 %);
- 489 валов шестерен, из них забраковано 14 (2,9 %).

Распределение доли забракованных ответственных деталей колесно-редукторных блоков за 2021 и 2022 г.г. показано на рис. 5.

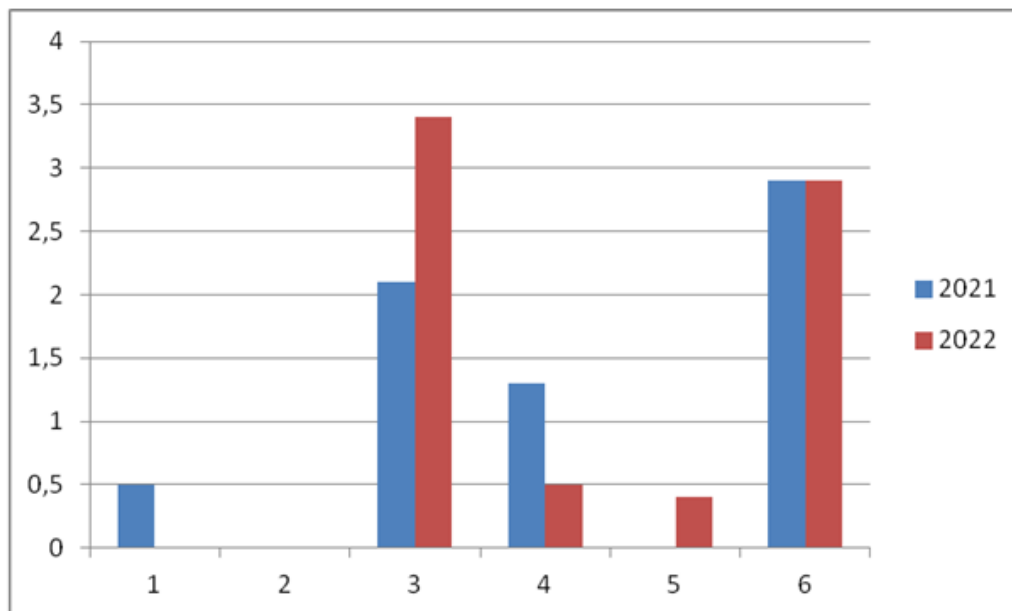


**Рис. 5.** Распределение доли забракованных ответственных деталей колёсно-редукторных блоков за 2021 и 2022 гг.: 1 – ось; 2 – бандаж; 3 – колёсный центр; 4 – зубчатое колесо; 5 – малая шестерня; 6 – вал шестерни

По сравнению с результатами неразрушающего контроля 2021 года отсутствует отбраковка осей колесных пар (0 % против 0,5 %) и уменьшился уровень отбраковки зубчатых колес (0,5 % против 1,3 %). Не изменились уровни отбраковки валов шестерни (2,9 %). В то же время незначительно возросла отбраковка колесных центров (3,4 % против 2,1 %) и малых шестерен (0,4 % против 0 %).

Причинами отбраковки колесных центров явились трещины на спицах, выявленные вихретоковым методом неразрушающего контроля, с последующим подтверждением дефектов магнитопорошковым методом неразрушающего контроля. Следует отметить, что 95 % из отбракованных колесных центров восстановлены в процессе ремонта. Причинами отбраковки валов малой шестерни большей частью явились трещины в галтельных переходах, выявленные магнитопорошковым методом неразрушающего контроля.

Распределение характерных дефектов валов шестерни и колесных центров показано на рис. 6 и 7 соответственно.

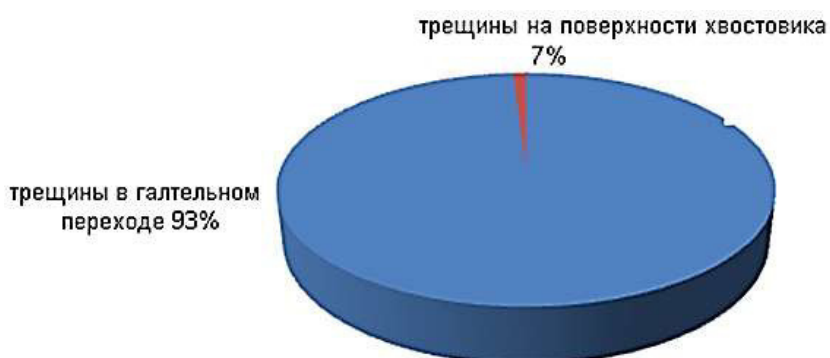


**Рис. 6.** Распределение характерных дефектов валов шестерни за 2022 г.

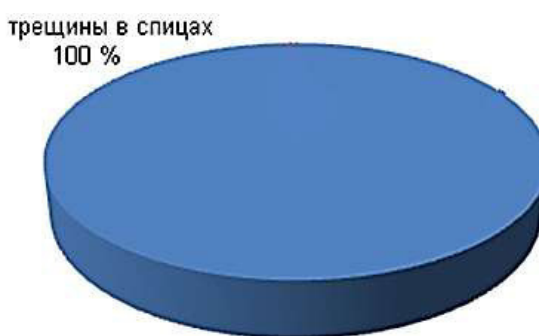


**Рис. 7.** Распределение характерных дефектов колесных центров за 2022 г.

На сегодняшний день в моторвагонном депо Алтайская зубчатые колеса проверяются магнитопорошковым методом контроля. Причинами отбраковки зубчатых колес большей частью являются трещины в межзубных впадинах (рис. 8).

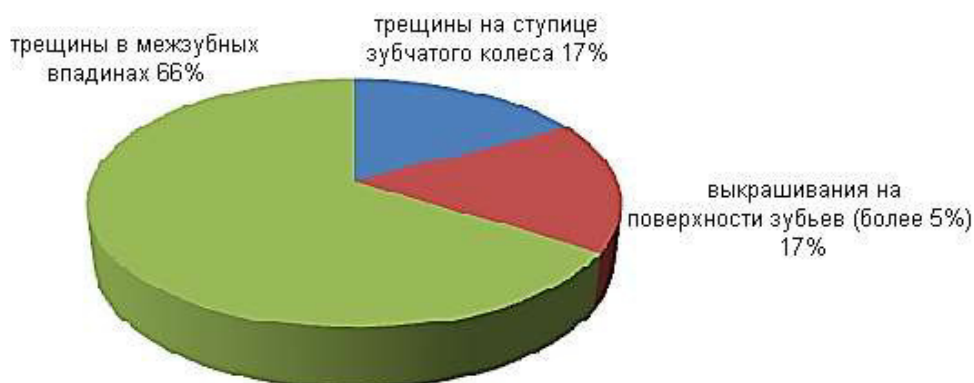


**Рис. 8.** Распределение характерных дефектов зубчатых колес за 2023 г.

Магнитопорошковый метод будет неправильно назвать не эффективным, но у него есть свои недостатки, которые могут сказываться на качестве неразрушающего контроля.



**Недостатки магнитопорошкового метода контроля:**

- **Ограниченная сфера применения.** Метод подходит только для деталей из ферромагнитных сплавов и сварных швов, выполненных с использованием магнитных электродов.
- **Малая универсальность.** Большинство моделей дефектоскопов для магнитопорошкового контроля специализируются только на одном виде деталей.
- **Необходимость обеспечения свободного доступа к детали со всех сторон.**
- **Зависимость степени выявления дефектов от показателей несплошностей.** Чувствительность минимальна на шероховатых участках деталей или с защитным покрытием толщиной более 40 мкм.
- **Трудность проверки коротких деталей,** у которых резко изменяется площадь поперечного сечения.
- **Значительное напряжение зрения.** Для выполнения магнитопорошковой дефектоскопии необходимая освещённость составляет более 1000 лк, а при использовании ультрафиолетовых источников облученность может достичь величины 2000 мкВт/см<sup>2</sup>, что негативно влияет на зрение оператора.
- **Сложность дешифровки.** Этот способ не предназначен для замеров ширины раскрытия трещины, её глубины и длины, проблематично даже определение типа несплошности [2].

Исходя из вышеперечисленных фактов можно сказать, что существующие на сегодняшний день способы неразрушающего контроля для больших зубчатых колес и других деталей являются трудоемкими и по времени затратными, а также есть шанс не получить должного результата в связи с человеческим фактором, возможными сбоями в оборудовании, так как оно уже физически и морально уступает современному.

В связи с этим авторами предлагается использовать прибор на основе рентгенографии, который сможет снизить время проведения операции и дать более детальную информацию о техническом состоянии БЗК и других деталей. Прибор основан на самых современных технологиях для проведения неразрушающего контроля. Его работа схожа с работой рентгеновского аппарата, т.е. одного из типов источников ионизирующего излучения, предназначенного для получения рентгеновского излучения и просвечивания объекта при проведении радиографического контроля [3–5].

Авторами предлагается использовать в условиях депо рентгеновский аппарат импульсного действия АРИНА 9 (рис. 9). Принцип работы оборудования АРИНА-9 основан на явлении взрывной электронной

эмиссии, возникающей в вакуумной рентгеновской трубке в результате подачи короткого, но мощного импульса высокого напряжения на катод. Схема управления обеспечивает постоянное поступление таких импульсов через цепь повышающих трансформаторов и разрядника, что позволяет получать на выходе вспышки рентгеновского излучения. В отличие от аппаратов непрерывного действия, в импульсных устройствах используется трубка с холодным катодом. Это существенно снижает стоимость оборудования, т.к. для его функционирования не требуется сложных многоконтурных систем охлаждения [6].



**Рис. 9.** Рентгеновский аппарат АРИНА 9

Прибор разработан для исследований сварных швов металлоконструкций рентгенографическим методом. С его помощью выявляются посторонние включения (вольфрамовые, окисные, шлаковые и др.), трещины, прожоги, поры и непровары. Аппарат АРИНА-9 – это носимый автономный источник рентгеновского излучения. Его наличие в арсенале лабораторий неразрушающего контроля совершенно оправдано, в первую очередь, на выездах. Возможность работы от источника питания на аккумуляторных батареях, надёжность и безопасность в эксплуатации, малые габариты и вес, полное соответствие заявленным характеристикам – факторы, подтверждённые многими специалистами в области дефектоскопии на промышленных предприятиях нефтегазового сектора, атомной энергетики, судостроения.

Данный аппарат при внедрении его в РЖД позволит вывести дефектоскопию на новый уровень, за счет своих качеств и более современного подхода, понятно, что нужно будет оборудовать отдельные помещения для проведения рентгенографии, но данные вложения помогут сэкономить огромные средства в будущем.

В комплект оборудования входят две основные части: модуль излучателя и пульт управления. Для того чтобы обезопасить операторов, пульт выносится на значительное расстояние от источника рентгеновского излучения. Блоки соединяются 25-метровым кабелем.

Конструкция изделия предполагает его использование для фронтальной и панорамной съёмки. В качестве дополнительной меры для получения более чётких снимков при фронтальном просвечивании реко-

мендуется использовать коллиматор XRS-АП. Коллиматор ограничивает воздействие рассеянного излучения на активный слой рентгеновской плёнки, улучшая качество изображения. Кроме того, коллиматор также выступает в качестве средства радиационной защиты персонала за счёт многократного ослабления неиспользуемой части рентгеновского излучения.



**Рис. 10.** Рентгеновская пленка AGFA D8



**Рис. 11.** Кожух-диафрагма для АРИНА 9

лучений на оператора и снижает излучение, которое не задействовано при проведении неразрушающего контроля (рис. 11).

Кожух-диафрагма XRS АП устанавливается на тубус излучателя рентгеновского аппарата и крепится к корпусу стяжками. Для предотвращения повреждения лакокрасочного покрытия тубуса рентгеновского аппарата, корпус кожух-диафрагмы с внутренней стороны защищен резиновым слоем. Для защиты от внешних повреждений используется ПВХ ткань. Конструкция фланца кожух-диафрагмы позволяет регулировать положение окна выхода излучения с шагом 45 градусов в направлении оси рентгеновского аппарата. В модификации со сменной

Для проведения рентгеновского контроля нужна специальная пленка, она регистрирует изображение исследуемого объекта. Существует большое количество пленок для проведения неразрушающего контроля рентгеновским методом, но в нашем случае понадобится рентгеновская пленка AGFA D8 (рис. 10).

Этот образец пленки подходит наилучшим образом, она предназначена для бетонных и тяжелых конструкций, а также литых деталей.

Также есть возможность докупить аппаратуру для более детального контроля. Для более безопасного проведения операции разработан специальный «кожух», который снижает воздействие из-

свинцовой диафрагмой дополнительно предусмотрена бесступенчатая регулировка положения окна диафрагмы без смены положения кожуха.

Для повышения качества и усиления характеристик аппарата и пленки существуют специальные экраны. Усиливающие экраны применяются в целях повышения чувствительности пленок к рентгеновскому излучению и, соответственно, сокращению времени просвечивания.

Выделяют два типа усиливающих экранов – металлические и флуоресцентные (флюоресцентные).

Усиливающее действие металлических экранов основано на экспонировании пленки вторичными электронами, выбитыми из тонкой фольги (свинцовой или свинцово-оловянной) экрана рентгеновскими фотонами. Ввиду очень малого пробега эти электроны практически полностью поглощаются пленкой, что повышает плотность ее потемнения. При этом усиление изображения не приводит к потере его качества в виде размывания.

В зависимости от энергии рентгеновского излучения, коэффициент усиления металлических экранов может достигать до 2-2,5. Экраны (пару) используют совместно с рентгеновской пленкой, размещая их по обе ее стороны, что удваивает их воздействие.

В свою очередь, главным отличием флуоресцентных экранов от металлических является использование специального вещества – люминофора, которое конвертирует часть рентгеновского излучения в оптическое вещество экрана.

В то время как пленка поглощает около 1 % дошедшего до нее рентгеновского излучения, экран имеет значительно большую поглощающую способность (до 20 %), и возникающее в нем свечение практически полностью поглощается пленкой. Поэтому коэффициенты усиления флуоресцентных экранов весьма высоки (несколько десятков и более). Однако наряду с существенным уменьшением экспозиции возникают не менее существенные потери в контрастной чувствительности из-за очень большого размера зерна люминофора (порядка 10 мкм, в то время как средний размер зерна безэкранной рентгеновской пленки составляет не более 0,5 мкм, экранной пленки – 1-1,5).

Как и металлические, флуоресцентные экраны используют в комплексе из двух экранов (переднего и заднего) в максимально тесном контакте с пленкой. Толщина заднего экрана обычно больше толщины переднего, в связи с тем, что его свечение, направленное к пленке, в меньшей степени ослабляется собственным поглощением. При этом, как правило, флуоресцентные экраны используются со специально предназначенными для них типами пленок [6].

Основные технические характеристики представлены в Таблице.

Таблица

**Технические характеристики АРИНА 9**

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Величина дозы, мР       | 1200                      |
| Рабочее напряжение, кВ  | 300                       |
| Масса излучателя, кг    | 2                         |
| Фокусное пятно, мм      | 2,5                       |
| Габариты излучателя, мм | 525×140×220               |
| Метод просвечивания     | Направленный / Панорамный |

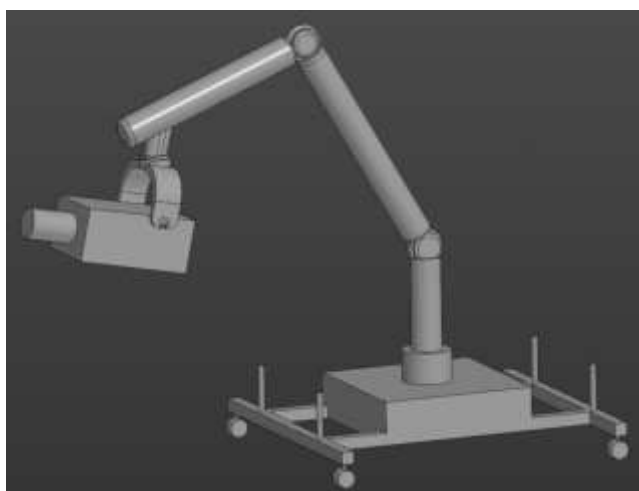


**Рис. 12.** Модель роботизированной руки

Чтобы облегчить работу операторам была разработана роботизированная рука. Модель была создана в программе КОМПАС 3D. Данная разработка оснащена несколькими подвижными элементами, которые позволят выполнять работу во всех направлениях (рис. 12).

Данная модель оснащена пятью подвижными частями, утяжелителем и специальными креплениями для установки

дополнительного веса, чтобы исключить падение установки при закреплённом приборе.

Каркас выполнен из железной квадрат трубы, толщина металла 2,5 мм, длина 1,5 м, ширина 6 см и высота трубы 2 см. Посередине этого каркаса будет установлен противовес, массой 60 кг. Также имеется четыре крепления, в которые можно будет установить дополнительный вес в виде железных блинов. В противовесе в центре установлен подшипник, который позволит вращаться всей установке на 360°. Также имеются и фиксаторы, которые дают возможность установить «руку» в любом положении и исключить смещения во время проведения операции.

Следующим элементом является алюминиевая труба размером 40 см с закрепленным на верхнем торце шарниром, который позволит работать прибором в вертикальной плоскости почти на 180°. К шарниру подсоединена еще одна алюминиевая труба размером 70 см, у нее аналогично на верхнем торце расположен шарнир, который является соединительным

элементом и дает возможность расширить рабочий диапазон. Конечным элементом является еще одна алюминиевая труба длиной 60 см. На конце трубы вмонтирован еще один шарнир, а к шарниру закреплен стабилизатор, к которому уже будет закреплен сам прибор, стабилизатор позволит использовать прибор на 360° во всех плоскостях, также имеются специальные фиксаторы, которые помогут установить прибор в определенном положении и исключит возможность срыва прибора во время работы.

Материалы подобраны так, чтобы вся конструкция в сборе была мобильна и удобна в использовании, также материалы долговечны и достаточно прочны, что дает еще одно преимущество – надежность и большой рабочий ресурс.

Так как трубы полые внутри, есть возможность усовершенствования установки, допустим для установки электрических приводов и небольшого мотора для полной автоматизации, что в конечном итоге позволит провести неразрушающий контроль без участия оператора, потому что излучение представляет опасность для человека и даже при наличии специальных средств защиты малая часть облучения все равно попадет на оператора.

Разработанный прибор позволит внести большой вклад в проведении неразрушающего контроля. С его помощью будет сокращено время проведения операции по неразрушающему контролю, трудоемкость станет минимальной за счет автоматизации процесса при помощи роботизированной руки. Прибор повысит качество проведения контроля, что приведет к сведению отказов литых деталей и узлов к нулю, потому что любой брак и дефект будет обнаружен, соответственно снизится количество внеплановых ремонтов по причине отказа литых деталей и узлов. Экономический эффект позволит сократить затраты на проведении неразрушающего контроля.

#### *Библиографический список*

1. Лошкарев, И. Ю. Неразрушающий контроль. Особенности методов неразрушающего контроля / И. Ю. Лошкарев, А. С. Чернышов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы IV Международной научно-практической конференции, Саратов, 01–30 апреля 2013 года / под редакцией А. В. Павлова. – Саратов : ООО ПКФ «Буква», 2013. – С. 184–186.

2. Лукке, К. Ю. Магнитопорошковый контроль – достоверный метод неразрушающего контроля / К. Ю. Лукке. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 4(18). – С. 14–23.



3. Потрахов, Н. Н. Передвижные рентгеновские установки для контроля материалов и промышленных изделий / Н. Н. Потрахов, К. К. Гук, В. Б. Бессонов. – Текст : непосредственный // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : сборник статей 8-й Международной научно-технической конференции, Могилев, 29–30 сентября 2022 года. – Могилев : Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», 2022. – С. 193–198.

4. Патент № 2598396 С2 Российская Федерация, МПК G01N 23/02. Метод и система комбинированного радиационного неразрушающего контроля : № 2015106330/28 : заявл. 26.07.2012 : опубл. 27.09.2016 / Ч. Ву, Ц. Ань, С. Лю [и др.]. – Текст : непосредственный.

5. Кокорева, И. Рентгеновские методы неразрушающего контроля / И. Кокорева, Г. Щелкунов. – Текст : непосредственный // Электроника : Наука, технология, бизнес. – 2007. – № 5(79). – С. 84–93. – EDN OILLTB.

6. Рентгеновский аппарат АРИНА-9 / импульсные дефектоскопы. – URL : <https://spectroflash.ru/products/flash-x-ray-source/arina-9.html>. – Текст : электронный.

**С. А. Кахаев, А. О. Линьков, О. В. Мельниченко**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Современные тенденции цифровизации промышленности способствуют активному внедрению технологий мониторинга в железнодорожный транспорт. В условиях роста грузопотоков и ужесточения требований к надежности тягового подвижного состава контроль состояния изоляции силовых цепей электровазов становится критически важным. Мониторинг сопротивления изоляции является ключевым элементом концепции цифрового двойника электроваза, который обеспечивает постоянный контроль за состоянием оборудования. В статье представлены результаты математического моделирования системы мониторинга сопротивления изоляции, которая способствует своевременному выявлению отклонений, непрерывному контролю и прогнозированию неисправностей.*

*Ключевые слова: математическое моделирование, электровоз переменного тока, сопротивление изоляции, система мониторинга, имитационная модель.*

**Актуальность проблемы.** Согласно «Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года» [1], одним из приоритетов является рост объема перевозок, что требует увеличения пропускных способностей инфраструктуры. Так, за период с 2020 по 2023 год провозная мощность Восточного полигона ОАО «РЖД» увеличена на 29 млн тонн и достигла 173 млн тонн [2], а к концу 2024 года предусмотрено увеличение до 180 млн тонн [3]. Реализация подобных амбициозных планов возможна лишь при условии надежной и безотказной работы тягового подвижного состава, особенно электровозов переменного тока, играющих ключевую роль в обеспечении основного объема грузоперевозок.

Практика эксплуатации локомотивного парка свидетельствует о сохранении высокого уровня отказов электрооборудования. За 2023 год по Восточно-Сибирской дирекции тяги допущено более 1000 отказов электровозов по причине пробоя изоляции силовых цепей, что снижает пропускную способность участков и коэффициент готовности к эксплуатации электровозов. Усугубляет ситуацию тот факт, что существующие системы контроля, такие как реле заземления, срабатывают только при критическом снижении сопротивления или по факту пробоя изоляции, что приводит к необратимым последствиям, включая повреждение электрооборудования и остановку тягового подвижного состава на перегоне, увеличивая экономические потери и риски для безопасности [4].

Одним из ключевых трендов в развитии современных технологий является внедрение цифровых двойников, которые позволяют существенно повысить эффективность эксплуатации и снизить количество отказов оборудования [5, 6, 7]. В контексте системы мониторинга сопротивления изоляции силовой цепи электровозов серии «Ермак» данный аспект приобретает особую значимость. Измерение и анализ изоляционных параметров являются основой для формирования полноценной цифровой модели. Корректная регистрация этих параметров не только способствует созданию более достоверного цифрового двойника, но и обеспечивает возможность непрерывного контроля, предиктивной аналитики и оперативного реагирования на потенциальные неисправности. Это, в конечном итоге, влечет за собой повышение надежности всего тягового подвижного состава и снижение времени простоя.

Таким образом, параметры, получаемые и регистрируемые системой мониторинга сопротивления изоляции, играют ключевую роль в обеспечении безопасной и эффективной работы электровозов. Их ин-

теграция в цифровую модель становится необходимым шагом к созданию высокотехнологичного и безопасного железнодорожного транспорта, а также создаёт основу для дальнейшего развития методов предиктивного обслуживания и интеллектуального анализа данных

**Постановка цели.** Цель исследования – оценить работоспособность системы мониторинга сопротивления изоляции силовой цепи электровоза переменного тока на основе математического моделирования.

**Пути решения проблемы.** Эффективность и надежность эксплуатации электровозов напрямую зависит от состояния силовых цепей, одной из важнейших составляющих которых является изоляция. Нарушение целостности изоляции ведет к значительным сбоям в работе тягового подвижного состава. В связи с этим, одним из приоритетов в эксплуатации электровозов является внедрение современных систем мониторинга состояния изоляции, способных своевременно выявлять отклонения от нормы и предотвращать аварийные ситуации. Разработка и тестирование такой системы требует применения методов математического моделирования для проверки и совершенствования предлагаемых решений. В данной статье рассматриваются результаты математического моделирования системы мониторинга сопротивления изоляции электровоза.

Суть предлагаемого способа заключается в непрерывном мониторинге и анализе нескольких электрических параметров, связанных с состоянием изоляции [8]. Это позволяет определять значения сопротивления изоляции силовой цепи в различных режимах работы электровоза. Ключевым измеряемым параметром является ток утечки, используемый для расчета сопротивления изоляции всей силовой цепи электровоза, а также идентификацию агрегата с минимальным значением сопротивления.

Алгоритм работы и функциональная схема системы представлены на рис. 1.

Для реализации способа не требуется дополнительно прикладывать испытательное напряжение к изоляции, что исключает риск ее повреждения. Рассмотрим алгоритм работы и функциональную схему системы мониторинга сопротивления изоляции силовой цепи электровоза.

С помощью первого измерительного канала У1 измеряется падение напряжения  $U_{pз}$  на катушке реле заземления, которое пересчитывается в ток утечки  $I_{ут}$  по формуле (1.1):

$$I_{ут} = \frac{U_{pз}}{R_{pз}}, \quad (1.1)$$

где  $R_{pз}$  – сопротивление катушки реле заземления, Ом;

$U_{pз}$  – напряжение на катушке реле заземления, В.

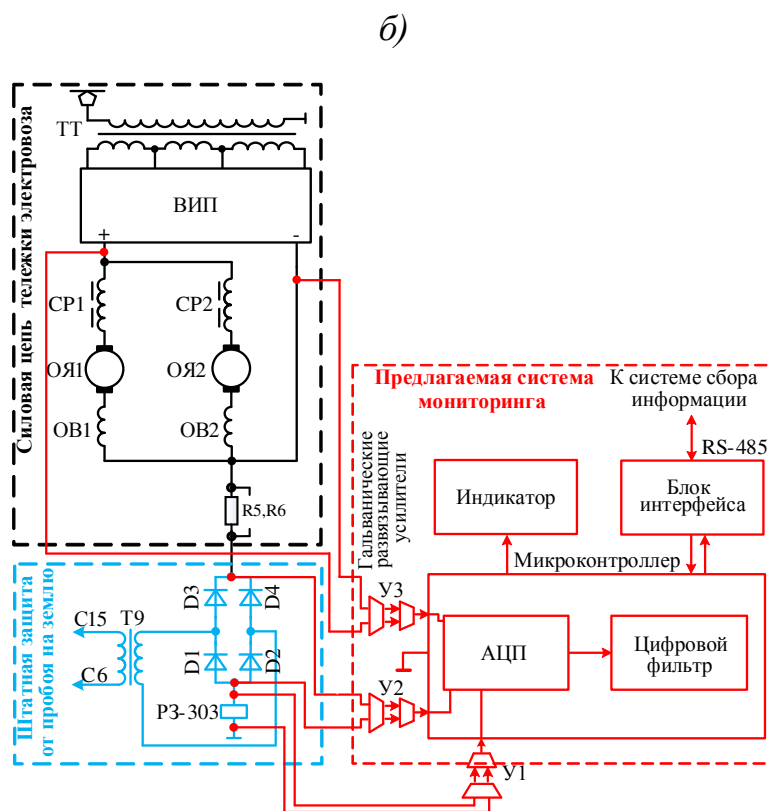
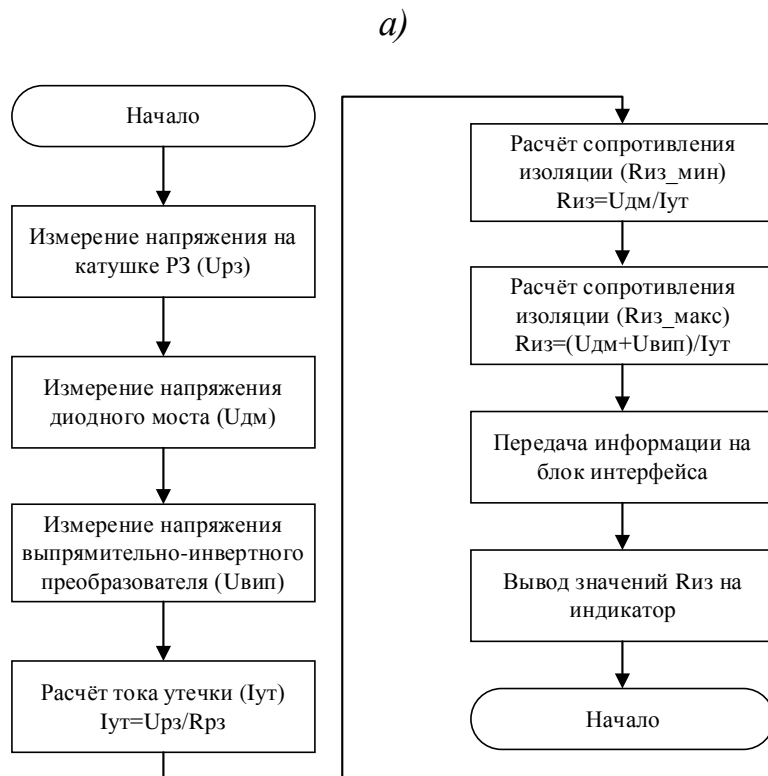


**Рис. 1.** а) алгоритм работы системы мониторинга сопротивления изоляции;  
б) функциональная схема системы мониторинга сопротивления изоляции

С помощью второго измерительного канала через гальванически развязывающий усилитель У2 измеряется напряжение  $U_{\text{дм}}$  диодного моста D1-D4.

Третьим измерительным каналом через гальванически развязывающий усилитель У3 измеряется напряжение  $U_{\text{вип}}$ , выдаваемое выпрямительно-инверторным преобразователем ВИП, которое пересчитывается в сопротивление изоляции  $R_{\text{из}}$  по формуле (1.2):

$$R_{\text{из}} = \frac{U_{\text{дм}} - U_{\text{рз}} - (R_{5-6} * I_{\text{ут}}) + U_{\text{вип}}}{I_{\text{ут}}}, \quad (1.2)$$

где  $R_{5-6}$  – сопротивление резисторов R5 и R6, Ом;

$U_{\text{вип}}$  – напряжение на ВИП, В.

Эти параметры позволяют непрерывно отслеживать состояние изоляции и оперативно выявлять отклонения.

Оценка эффективности и работоспособности предлагаемого решения осуществлялась в комплексной системе «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз», описание которой приведено в [11, 12]. Математическое моделирование производилось в среде MATLAB Simulink.

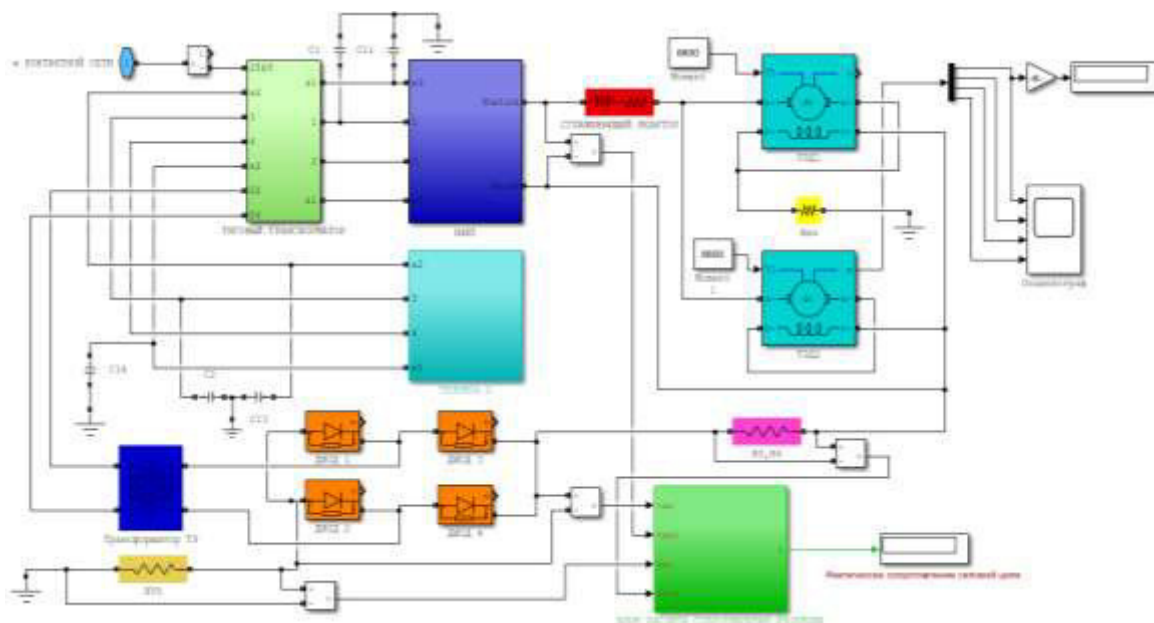


**Рис. 2.** Имитационная модель секции электровоза 2ЭС5К в среде MATLAB Simulink с предложенной системой мониторинга сопротивления изоляции

В основу математической модели положена силовая электрическая схема двухсекционного электровоза 2ЭС5К [10]. В одну секцию элек-

тровоза входят тяговый трансформатор, два выпрямительно-инверторных преобразователя (ВИП), четыре сглаживающих реактора, четыре тяговых электродвигателя (ТЭД), реле заземления KV5, диодный мост с трансформатором (Т9) и дополнительные сопротивления (R5, R6). Данная модель представляет собой схему замещения реального объекта, параметры которой полностью соответствуют техническим характеристикам, установленному на электровозе оборудованию согласно эксплуатационной документации [10]. Имитационная модель секции электровоза 2ЭС5К в среде MATLAB Simulink с предложенной системой мониторинга сопротивления изоляции силовой цепи представлена на рис. 2.

**Результаты моделирования.** Первый этап моделирования проводился с целью изучения влияния изменения сопротивления изоляции на работоспособность системы. Пробой изоляции имитировался в сглаживающем реакторе с помощью резистора, подключаемого к корпусу электровоза, величина которого регулировалась в диапазоне от 500 кОм до 20 МОм. Каждый эксперимент выполнялся с включенным и отключенным ВИП. Сопоставление полученных данных с эталонными значениями сопротивлений, установленными на резисторе, позволило вычислить погрешность измерений. Результаты моделирования в виде погрешности измерений сопротивления по разработанной методике представлены на рис. 3.

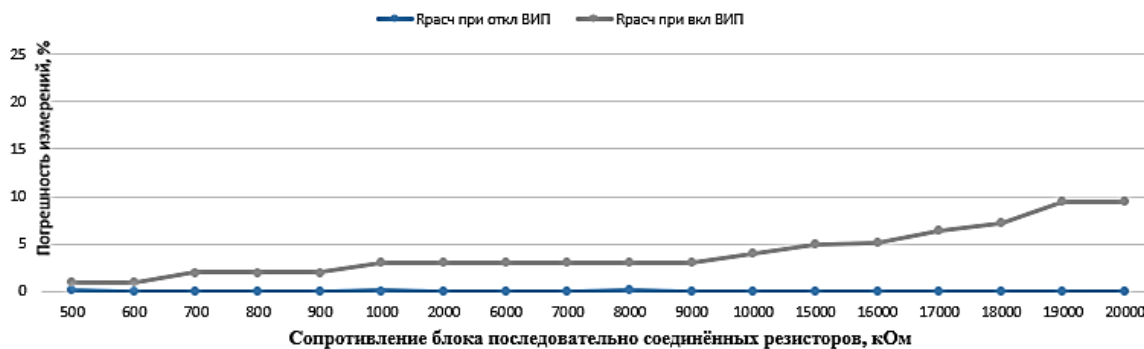


**Рис. 3.** Динамика погрешности измерения сопротивления изоляции в зависимости его величины

Расчет погрешности полученных значений сопротивления изоляции выполнялся по формуле (1.3):

$$\delta = \frac{|R_{из} - R_{\phi}|}{R_{\phi}} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

где  $R_{из}$  – полученное расчетное значение сопротивления изоляции, Ом;



$R_{\Phi}$  – фактическое сопротивление изоляции, включенное в силовую цепь, Ом.

Результаты моделирования показали, что при отсутствии напряжения на ВИП система демонстрирует высокую точность измерений вне зависимости от величины сопротивления изоляции. К тому же в процессе моделирования выяснилось, что полученное сопротивление изоляции не зависит от места снижения сопротивления в силовой цепи электровоза.

Второй этап моделирования исследовал значения сопротивления изоляции при включенном ВИП. Проведено снижение сопротивления в элементах силовой цепи постоянного тока: выпрямительно-инверторном преобразователе, сглаживающем реакторе, обмотке якоря и обмотке возбуждения. На рис. 4 представлены результаты расчета сопротивления изоляции на математической модели.

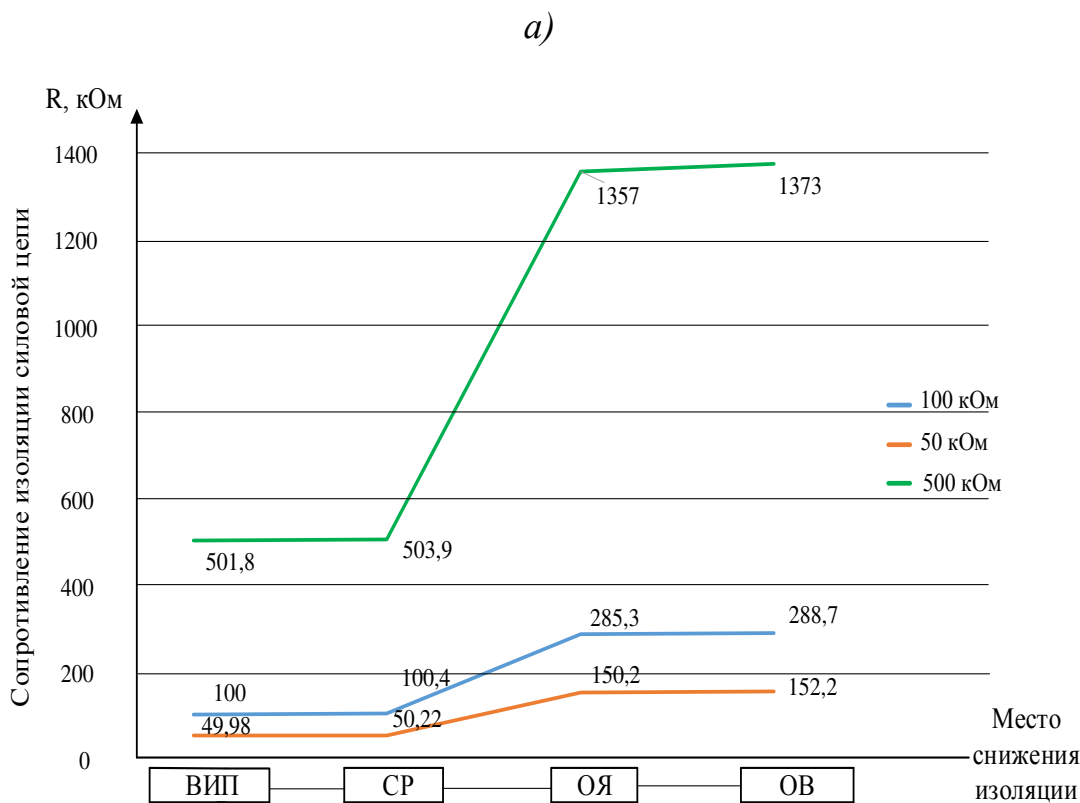


**Рис. 4** (начало). а) параметры сопротивления изоляции, измеренные в различных элементах силовой цепи под нагрузкой при имитации пробоя 50 кОм, 100 кОм, 500 кОм; б) параметры сопротивления изоляции, измеренные в различных элементах силовой цепи под нагрузкой при 1 МОм, 2,5 МОм, 5 МОм

б)

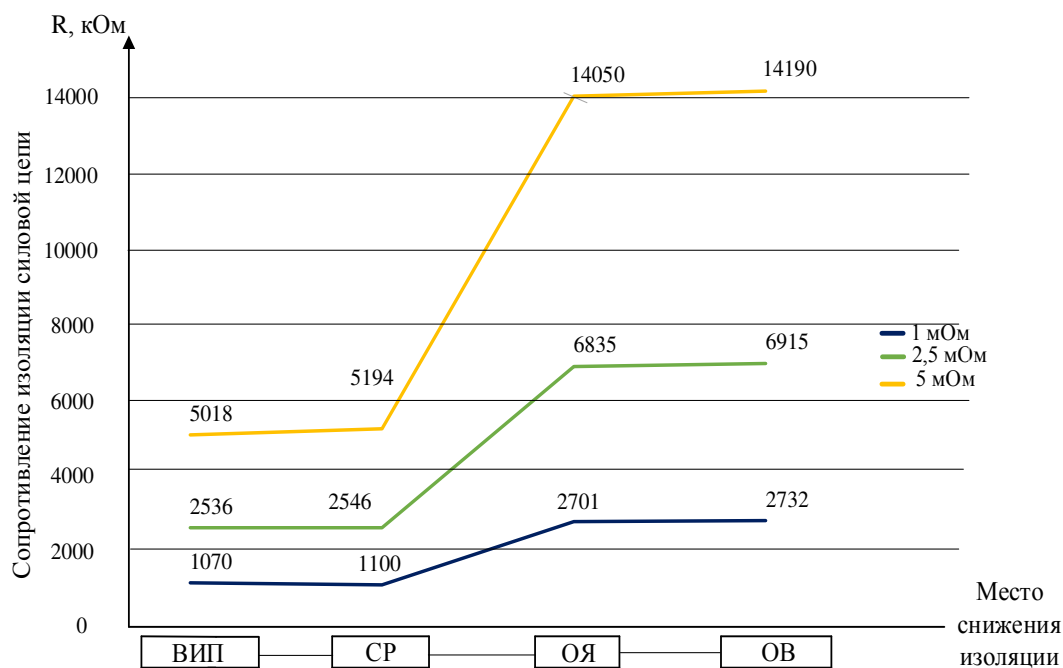


**Рис. 4.** (окончание). а) параметры сопротивления изоляции, измеренные в различных элементах силовой цепи под нагрузкой при имитации пробоя 50 кОм, 100 кОм, 500 кОм; б) параметры сопротивления изоляции, измеренные в различных элементах силовой цепи под нагрузкой при 1 МОм, 2,5 МОм, 5 МОм

Использование данных о сопротивлении на выбеге (при отключенном ВИП) и под нагрузкой (при включенном ВИП), позволяет локализовать места ухудшения изоляции. Важное значение имеет распределение падения напряжения в силовой цепи – его увеличение происходит по мере удаления от ВИП из-за индуктивных и активных сопротивлений цепи. При наличии повреждения изоляции падение напряжения отличается от нормального значения, позволяя точно определить место неисправности.

Графики, полученные в ходе моделирования, наглядно демонстрируют динамику изменения сопротивления изоляции в зависимости от места повреждения и режима работы электровоза. Таким образом, анализируя распределение падения напряжения по длине силовой цепи и сравнивая расчётное сопротивление изоляции при различных режимах работы электровоза, можно определить конкретное место изменения сопротивления изоляции.

**Закключение.** Математическое моделирование, проведенное на базе силовой схемы секции электровоза 2ЭС5К, продемонстрировало работоспособность разработанной системы мониторинга сопротивления изоля-

ции. Результаты исследований показали, что в условиях отключенного выпрямительно-инверторного преобразователя система обеспечивает высокую точность измерений. Оценка работы системы мониторинга под нагрузкой позволяет идентифицировать конкретные места пробоя изоляции в силовой цепи. Данные, получаемые с системы мониторинга изоляции силовой цепи, играют ключевую роль в создании и функционировании цифрового двойника колёсно-моторного блока (КМБ) электровоза. На основании положительных результатов математического моделирования целесообразно продолжить работу по созданию макетного образца и проведения лабораторных испытаний.

Работа выполнена в рамках государственного задания по государственной работе «Проведение прикладных научных исследований» на тему «Разработка цифрового двойника колёсно-моторного блока электровоза «Ермак» серии 2(3)ЭС5К» № 124060500020-4 от 05.06.2024.

#### *Библиографический список*

1. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации период до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.06.2008 № 877-р. – Текст : непосредственный.

2. Распоряжение Правительства РФ от 19.03.2019 № 466-р (ред. от 13.10.2022) (вместе с «Долгосрочной программой развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года»). – URL : <https://company.rzd.ru/ru /9353/page/ 105104?id =1359> (дата обращения: 15.06.2024). – Текст : электронный.

3. Журнал «РЖД – Партнер». – URL : <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/v-2024-godu-provoznaya-sposobnost-vostochnogo-poligona-mozhet-dostignut-180> (дата обращения: 15.06.2024). – Текст : электронный.

4. Кахаев, С. А. Анализ способов контроля сопротивления изоляции силовой группы электровозов переменного тока / С. А. Кахаев, А. О. Линьков, В. Н. Знаенок. – Текст : непосредственный // Молодёжная наука : труды XXVIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции КриЖТ ИрГУПС (г. Красноярск, 25.04.2024 г.). – Том 2. – С. 128–134.

5. Способ диагностирования гидравлических гасителей колебаний на тяговом подвижном составе / О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, А. В. Коновалов, С. А. Кахаев. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 2 (82). – С. 79–88. – DOI 10.26731/1813-9108.2024.2(82).79-88.

6. Портной, А. Ю. О вибрации колёсно-моторного блока вследствие взаимодействия колеса с рельсом и работы зубчатой передачи электроваза 3ЭС5К в условиях горно-перевального участка / А. Ю. Портной, О. В. Мельниченко, К. П. Селедцов, А. О. Линьков, Д. А. Яговкин, С. Г. Шрамко, Г. Г. Грузин. – Текст : непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – 24(3). – С. 527–547.

7. Селедцов, К. П. Оценка характеристик собственных колебаний железнодорожного пути под подвижным составом / К. П. Селедцов, Г. Г. Грузин, О. В. Мельниченко, А. Ю. Портной, А. О. Линьков. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – Том 2. – С. 128–136. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.2(66).128-136.

8. Патент 2807416 Российская Федерация, МПК G 01 R 27/18, В 60L 3/00. Способ оценки сопротивления изоляции силовой группы постоянного тока электровозов и устройство для его реализации / О. В. Мельниченко, А. Ю. Портной, А. О. Линьков, С. Г. Шрамко, В. Н. Знаенко [и др.] ; заявитель и патентообладатель В. Н. Знаенко № 2023116661; заявл. 26.06.2023, опубл. 14.11.2023, Бюл. № 32. – 10 с. – Текст : непосредственный.

9. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К) : руководство по эксплуатации / Новочеркасский электровозостроительный завод. – Новочеркасск, 2007. – Том 1. – 635 с. ; Том 2. – 640 с. – Текст : непосредственный.

10. Математическое моделирование работы электроваза с новой выпрямительной установкой возбуждения на IGBT транзисторах / А. О. Линьков [и др.] // Наука и техника транспорта. – 2013. – № 2 – С. 21–28. – Текст : непосредственный.

11. Структура математической модели выпрямительно-инверторного преобразователя на IGBT-транзисторах для электроваза переменного тока в режиме тяги / Д. А. Яговкин, А. Ю. Портной, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков [и др.] // Электропривод на транспорте и в промышленности : труды II Всероссийской научно-практической конференции. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС. – 2018. – Текст : непосредственный.

**С. Н. Куркин, О. С. Якушкина, Е. П. Гришин**  
Филиал ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I»,  
г. Рязань, Россия

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

*В статье рассматриваются методы регулирования скорости вращения асинхронных электродвигателей, широко используемых на железнодорожном транспорте. Описаны принципиально разные подходы, включая изменение частоты питания, управление напряжением и использование электронных преобразователей. Подробно рассматриваются преимущества и недостатки каждого метода, а также их влияние на эффективность и долговечность двигателей. Сравнивается конструкция и эксплуатационные особенности электродвигателей разного рода тока. Анализируется опыт эксплуатации тепловоза с тяговыми асинхронными электродвигателями.*

*Ключевые слова: регулирование скорости, двигатель постоянного тока, асинхронный электродвигатель, электровоз, преобразователь.*

В настоящее время на железнодорожном подвижном составе в качестве тяговых двигателей в преобладающем количестве используют двигатели постоянного тока, что обусловлено легкостью регулирования скорости вращения с помощью изменения подводимого напряжения и схемы соединения (например, реостатно-контакторная система управления электровоза серии ВЛ10). Обладая плавностью изменения скорости вращения, двигатель постоянного тока (ДПТ) также имеет отличительный конструктивный элемент, который значительно снижает ресурс и надежность тягового подвижного состава – это щеточно-коллекторный узел. Коллектор ДПТ представляет собой цилиндр из набора медных пластин, которые изолированы друг от друга. Верхняя часть коллектора называется «петушком» и имеет узкие продольные пазы, в которые укладывают проводники якоря и припаивают. Электрический контакт с коллектором осуществляется посредством щеток, располагаемых в щеткодержателях [1].

Курок щеткодержателя необходим для передачи давления пружины на щетку. Стоит отметить, что ДПТ требует особого внимания в отношении нажатия щетки на коллектор, так как чрезмерное нажатие приводит к преждевременному износу и перегреву, а недостаточное нажатие к искрению и последующему возгоранию. Многие говорят о высокой

стоимости эксплуатации и нерациональности использования ресурсов: угольные щетки стираются, требуют частого осмотра и замены; коллектор опасен возгоранием и нуждается в обточке (это значит, что в депо должен находиться специальный станок), пружины ослабевают.

Отдельно хочется сказать о том, что для пуска ДПТ используют пусковые резисторы (на электровозах постоянного тока), на которые может тратиться до 30% потребляемой электроэнергии до ходовой позиции. На электровозе переменного тока ВЛ80 до 40% процентов общих потерь тратится на вторичные обмотки трансформатора и сглаживающие реакторы (эти электрические аппараты используются для изменения напряжения на якоре). Это говорит о том, что будущее за асинхронными тяговыми электродвигателями и частотными преобразователями.

Современные тенденции развития отечественного локомотивостроения предполагают расширение использования энергоемких технологий и внедрения прогрессивных технических решений [2]. Мы считаем, что двигатели переменного тока могут отвечать сегодняшним требованиям. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АДКР), в отличие от двигателя постоянного тока, не имеет скользящих деталей, что приводит к уменьшению ремонтных операций и значительному повышению ресурса. Отметим, что двигатель с фазным ротор не будет обладать таким же преимуществами, поэтому в данной статье рассматриваться не будет.

Известно, что регулирование скорости вращения исполнительного механизма можно осуществлять с помощью различных устройств (способов), среди которых наиболее выгодны частотные преобразователи напряжения, статические преобразователи частоты. Также скорость можно регулировать переключением числа полюсов статора, использованием редуктора и передач (этот способ неприменим к железнодорожному составу). Статические тиристорные преобразователи строятся на современных инверторах тока или напряжения [3]. Существуют так же преобразователи, выполненные на базе силовых транзисторов.

Метод управления скоростью вращения через изменение частоты подаваемого напряжения основывается на изменении синхронной частоты. Для его осуществления необходимы источники питания с регулировкой. Это могут быть электромашинные, ионные или полупроводниковые преобразователи частоты. С изменением частоты тока будет меняться и момент, для сохранения которого необходимо повышать подводимое напряжение. Такое регулирование двигателей позволяет плавно изменять частоту вращения в широком диапазоне (до 12:1) [1]. Потери в мощности невелики, а механические характеристики продолжают обладать высокой жесткостью.



Технологии не стоят на месте, поэтому в настоящее время цена преобразователя не высока. К тому же, экономические показатели говорят о том, что в среднем на окупаемость преобразователя приходится за 2 года. При этом на ремонт самого асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором нужно меньше средств и времени, и пробеги между техническими обслуживаниями у него больше, чем у двигателя постоянного тока. Преобразователи частоты могут быть с непосредственной связью. Диапазон частот преобразователя этого типа на выходе обычно лежит в диапазоне от 0 до 33 Гц [4]. Чаще всего такие аппараты получают переменное трехфазное напряжение от питающей сети, затем питание проходит диодный выпрямитель со сглаживающими фильтрами (конденсаторы и индуктивные катушки) и в конце – автономный инвертор. Стоит отметить, что микропроцессорная система управления позволяет не только повышать энергоэффективность, но и отлично защищает двигатель от перегрузок и снимает множество рабочих параметров.

Менее сложный способ изменения скорости – регулирование подводимого напряжения к статору. Вместо сложных преобразователей на полупроводниковых приборах, используется регулятор напряжения (например, трехфазный автотрансформатор). В случае использования тиристоров, напряжение регулируется путем изменения их угла включения, периода проводимости (для трехфазной сети). При этом критический момент асинхронного двигателя изменяется пропорционально квадрату подводимого напряжения, а вот скольжение (относительная разность скоростей вращения ротора и изменения переменного магнитного потока) не имеет зависимости.

Данной способ обладает характерным недостатком: существуют определенные трудности с пуском такого двигателя, поскольку при снижении напряжения ощутимо снижается и пусковой момент двигателя, и если он будет меньше момента сопротивления рабочей машины, то двигатель попросту не раскрутится [5]. Вентилятор, установленный на вал двигателя, также будет менять скорость, что может привести к перегреву. Ввиду конструктивных особенностей магнитной системы, повышение напряжения приводит к потерям. Тиристорное регулирование напряжения позволяет поддерживать температуру объекта с высокой точностью, что особенно важно для объектов регулирования с малой тепловой инерцией, для которых недопустимы даже незначительные перерывы в подаче напряжения, поскольку это ведет к колебаниям температуры, приводящим к браку технологического процесса [6]. Диапазон регулирования получается недостаточным.

Отдельного внимания достойны многоскоростные асинхронные двигатели с переключаемыми полюсами. Как известно, скорость вращения магнитного поля статора обратно пропорциональна количеству пар полюсов. Для примера, синхронная скорость в 3000 оборотов обеспечивается двумя полюсами, а скорость в 1500 оборотов – четырьмя полюсами. Многоскоростные двигатели имеют 2 вида исполнения обмоток.

В первом случае используются многообмоточные двигатели с разным количеством полюсов. Регулирование вращения достигается за счет подачи напряжения на одну из обмоток. В другом варианте фазная обмотка состоит из двух частей, которые могут быть соединены параллельно или последовательно, что позволяет изменять число полюсов лишь вдвое. Этот метод обеспечивает экономичность и высокую жесткость механических характеристик двигателя, но отсутствует плавность движения, что может стать причиной отказа использования этого метода на тяговом подвижном составе железных дорог. Кроме этого, многоскоростные двигатели обладают большими размерами и дополнительными операциями при производстве.

Мы можем отметить некоторые достоинства использования частотных преобразователей:

- плавный пуск без высоких токов и толчков;
- возможность реверсирования и остановки;
- отличную защиту от токов короткого замыкания, обрыва фаз и утечек на землю, перегрева;
- возможность снятия необходимых показателей;
- регулирование нескольких одинаковых двигателей одним преобразователем (что очень важно для подвижного состава);
- рациональное использование электроэнергии;
- увеличение срока службы и долговечности;
- снижение затрат на систему планово-предупредительную систему ремонта.

На сегодняшний день на российских железных дорогах используется подвижной состав с тяговыми асинхронными электродвигателями: 2ЭС7, 2ЭС10, ЭП20, 2ТЭ25А, ЭС1 (всех индексов), ЭГ2 (всех индексов). На всех машинах используются частотные преобразователи с IGBT-транзисторами (биполярный транзистор с изолированным затвором).

На тепловозе 2ТЭ25А применяется современный вид электрической передачи основанный на использовании генератора переменного тока и асинхронных тяговых электродвигателей. Отметим, что данные двигатели производятся на Новочеркасском электровозостроительном заводе. Машина оборудована осевым регулированием тяговой силы и статиче-

скими преобразователями частоты, работающими на основе автономных инверторов напряжения, что способствует улучшению тяговых характеристик тепловоза. Эксплуатация более полусотни тепловозов началась ещё в 2011 году в Тынде на Дальневосточной железной дороге (ДВЖД). За период с 2015 по 2018 год из 2892 выявленных неисправностей, 793 приходится на асинхронных электродвигатели. Это связано с множеством факторов. Например, производственными ошибками ремонтных бригад, эксплуатационными нарушениями со стороны машиниста (на этот фактор приходится больше всего неисправностей).

Практики эксплуатации асинхронных тяговых электродвигателей и частотных преобразователей на российских железных дорогах недостаточно для корректной эксплуатации новых машин. Хотя уже сейчас известно, что новые тепловозы в двухсекционном исполнении имеют лучшие технико-экономические показатели в сравнении со старыми 3ТЭ10 на одном участке. 2ТЭ25А позволяет провозить составы большей массы, при этом заводом установлены редукторы, обеспечивающие слишком большую скорость (120 км/ч), а на ДВЖД в среднем установленная скорость составляет 60 км/ч.

Подводя итог, можем сделать вывод о том, что тяговые асинхронные электродвигатели обладают перспективностью использования в будущем. Современные технологии позволяют перейти к частотным преобразователям. Обладая меньшим количеством деталей и большим пробегом, асинхронные двигатели позволят освободить участки различных депо, снизить денежные вложения в ремонт, повысить срок эксплуатации всего подвижного состава. В целом же, реальный переход на новый вид привода связан с планомерным проведением новых научно-технических разработок. Уже сейчас на железных дорогах работает больше сотни электровозов и тепловозов, не обладающих двигателями постоянного тока. Важно создать условия обмена опыта между разными эксплуатационными депо и профильными институтами.

#### *Библиографический список*

1. Кацман, М. М. Электрические машины : учебник для студентов средних профессиональных учебных заведений / М. М. Кацман. – Издание 3-е, исправленное. – Москва : Высшая школа ; Издательский центр «Академия», 2001. – 463 с. – Текст : непосредственный.
2. Киселев, И. Г. Тепловая модель асинхронного тягового электродвигателя тепловоза / И. Г. Киселев, Д. Н. Курилкин, М. А. Шрайбер. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2021. – № 4. – С. 461–467.

3. Мустаев, А. Ф. Частотное управление трехфазным асинхронным двигателем / А. Ф. Мустаев. – Текст : непосредственный // Вестник науки. – 2020. – № 2 (23). – С. 216–220.

4. Кельбасс, С. В. Тенденции использования электрических двигателей на электротранспорте / С. В. Кельбасс. – Текст : непосредственный // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика : материалы ХLI Международной научно-практической конференции, Алматы, Казахстан, 03–04 апреля 2017 года / под редакцией Б. М. Ибраева. – Том 2. – Алматы, Казахстан : Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017. – С. 111–115.

5. Мишин, В. Н. Регулирование скорости вращения асинхронных электродвигателей / В. Н. Мишин. – Текст : непосредственный // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2023 : сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 09–10 ноября 2023 года. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 272–276.

6. Руди, Д. Ю. Методы и особенностей регулирования скорости вращения асинхронного двигателя / Д. Ю. Руди. – Текст : непосредственный // Сборник материалов ХLII Международной научно-практической конференции, Москва, 17 декабря 2018 года. – Москва : Научный центр «Олимп», 2018. – С. 55–60.

7. Маяков, Д. М. Качественный анализ надёжности силового оборудования тепловозов серии 2ТЭ25А / Д. М. Маяков. – Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 4(44). – С. 76–82.

**Е. А. Ларченко, Е. А. Стребков, Т. В. Иванова**  
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,  
г. Чита, Россия*

**Е. Л. Сизачёва**  
*Читинский институт (филиал)  
ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет»,  
г. Чита, Россия*

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*В статье рассмотрены ошибки технических систем подвижного состава, в т. ч. из-за влияния человеческого фактора, что отрицатель-*

*но сказывается на результате работы локомотивных бригад. Чтобы улучшить перевозочную работу, необходимо внедрить новые технологии и инструменты, а также новые информационно-управляющие системы, которые будут направлены на обеспечение безопасности движения поездов. Был произведён анализ новой технологии взаимодействия с локомотивом посредством беспроводной связи СВЛ ТР и была сформирована новая структура модели системы мониторинга локомотивов, что позволит избежать выявленные недостатки в эксплуатационной работе.*

*Ключевые слова: подвижной состав железных дорог, радиосвязь, локомотивная бригада, новые технологии, беспроводная связь СВЛ ТР.*

В современных условиях растущего спроса на транспортировку грузов и пассажиров наблюдаются недостатки в управлении железнодорожным транспортом. Исследование функционирования технических систем подвижного состава выявило ряд проблем, среди которых: отсутствие контроля сигналов, задержка в торможении, неверная интерпретация команд диспетчера, несанкционированное движение локомотива и потеря концентрации машиниста. Для повышения эффективности перевозок необходимо ввести новые технологии и информационно-управляющие системы, обеспечивающие безопасность движения поездов.

Широкое применение связи и интернета позволяет эффективно организовывать операции и улучшать каналы передачи производственной информации. Регулярное обновление систем и технологий поможет минимизировать влияние человеческого фактора на безопасность.

Совсем недавно была разработана новая технология взаимодействия с локомотивами через беспроводную связь СВЛ ТР (система взаимодействия с локомотивом посредством технологической радиосвязи), разработанной компанией «ТрансИнфоПроект», предоставляющая двустороннее информационное взаимодействие между локомотивами и производственными системами. Опытная эксплуатация показала, что обмен данными осуществляется без потерь, что предоставляет возможность получать актуальную информацию о состоянии локомотива в реальном времени.

Участие современных электронных систем в этой технологии значительно увеличивает эффективность локомотивных бригад и способствует повышению безопасности движения поездов

Введение новых технологий, таких как беспроводная связь СВЛ ТР, способствует не только улучшению обмена данными, но и повышению уровня автоматизации процессов управления железнодорожным транс-



портом. Благодаря двустороннему информационному взаимодействию, локомотивные бригады могут оперативно получать команды и изменять режим работы в зависимости от текущей ситуации на пути следования. Это позволяет значительно сократить время реакции на потенциальные ситуации аварийного характера. На рис. 1 показана схема обмена информацией СВЛ ТР.

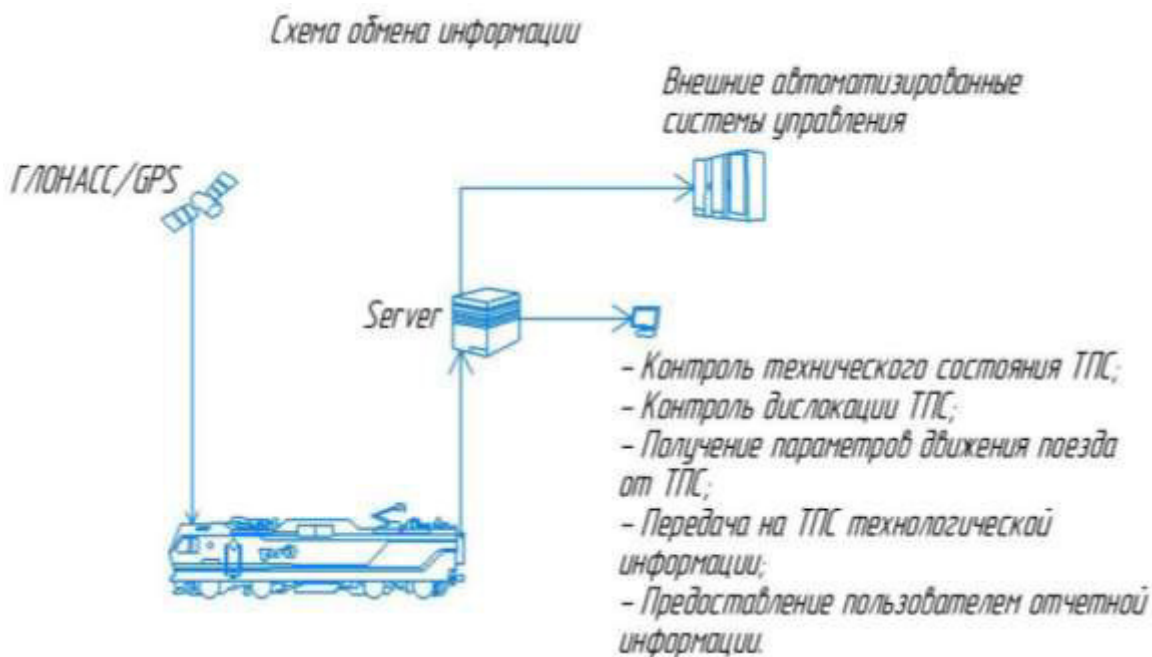


**Рис. 1.** Схема обмена информацией СВЛ Т

В результате внедрения данной системы в производственный процесс и ее опробывания на пилотном полигоне, было выявлено, что обмен информацией между локомотивом и сервером верхнего уровня, через системы ГЛОНАСС/GPS происходил без потери и искажения данных, что позволяло в режиме реального времени получать информацию о состоянии узлов локомотива, параметрах его движения и общем техническом состоянии. На рис. 2 показаны параметры локомотива в режиме реального времени.

В результате постоянного использования этой системы, анализ большой массы информации в режиме реального времени поможет выявлять потенциальные проблемы еще до их возникновения, тем самым предотвращая задержки и аварии. Система предупреждений о критических ситуациях, основанная на мониторинге состояния, составляет важный элемент безопасности.



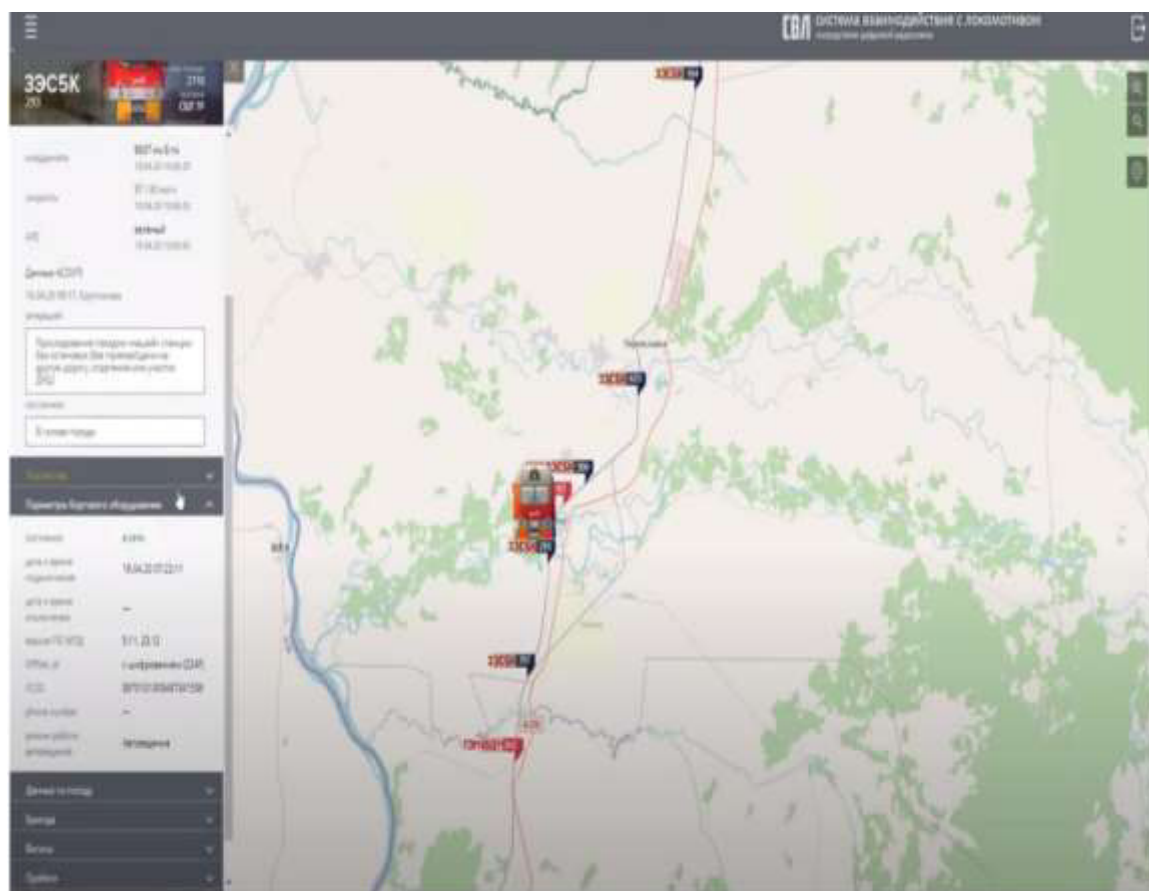


**Рис. 2.** Параметры локомотива в режиме реального времени

Формирование единой информационной платформы, где будут собираться и обрабатываться данные со всех локомотивов, откроет новые горизонты для анализа и планирования транспортных перевозок. Это позволит оптимизировать маршруты, сократит затраты на обслуживание и увеличит общую надежность железнодорожного транспорта.

При работе взаимодействие между системами СВЛ ТР и системами локомотива идет по CAN-интерфейсу (стандарт промышленной сети, ориентированный на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков) через блок TDR-M на основе блоков данных, состоящих из сообщений, адресованных для локомотива, или сообщений, адресованных базовой станции системы.

Данная технологическая система позволяет при наличии бортовых интеллектуальных систем (рис. 3) выявлять неисправность или отказ, не находясь на локомотиве, что заметно допускает повышения коэффициента полезного действия локомотивной бригады. Эти современные технологии способствуют повышению энергоэффективности железнодорожного транспорта. Использование систем мониторинга и управ-

ления энергопотреблением позволит оптимизировать расход топлива на локомотивах, снижая затраты на обслуживание и уменьшая углеродный след. Это актуально в условиях растущих требований к экологической устойчивости.

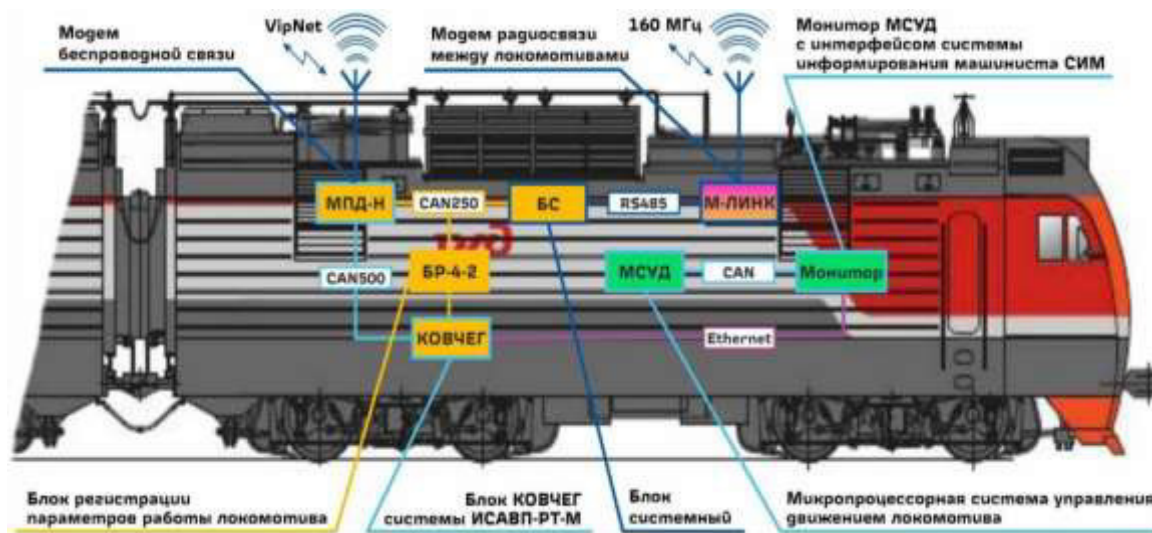


**Рис. 3.** Основное оборудование технологии «СВЛ ТР»

В системе СВЛ ТР принимают участие: электронный блок «КОВЧЕГ» системы ИСАВП-РТ-М, МСУД, РПДА, монитор МСУД с интерфейсом системы информирования машиниста СИМ, модуль радиосвязи между локомотивами, модем беспроводной связи ROPS GSM, системный блок.

В систему вводится модифицированный блок МПД-Н, дополнительно обеспечивающий прием всех телеметрических данных по высокоскоростной шине CAN500 от блока КОВЧЕГ, с последующей передачей данных по криптографически защищенному радиоканалу ROPS GSM на сервер СВЛ ТР ОАО «РЖД». Вместо модема ВЭБР вводится модем М-ЛИНК, обеспечивающий надежную связь между локомотивами на расстоянии 6–10 км по радиоканалу 160 МГц (против 2 км для модема ВЭБР).

В настоящее время данной системой на основе комплекса СВЛ ТР оборудован значительный парк локомотивов ОАО «РЖД» и ведется его дооснащение. Данные, полученные через сенсоры и устройства, обеспечивают более точное понимание состояния оборудования в текущий момент. Схема работы технологии «СВЛ ТР» представлена на рис. 4.

В начале поездки машинист электровоза включает систему и выбирает участок следования. Далее электровоз по защищенному каналу свя-

зи передаёт информацию о своем номере, местоположении в СВЛ ТР. СВЛ ТР ищет расписание движения для данного локомотива, а также ищет локомотив для сформированного расписания.

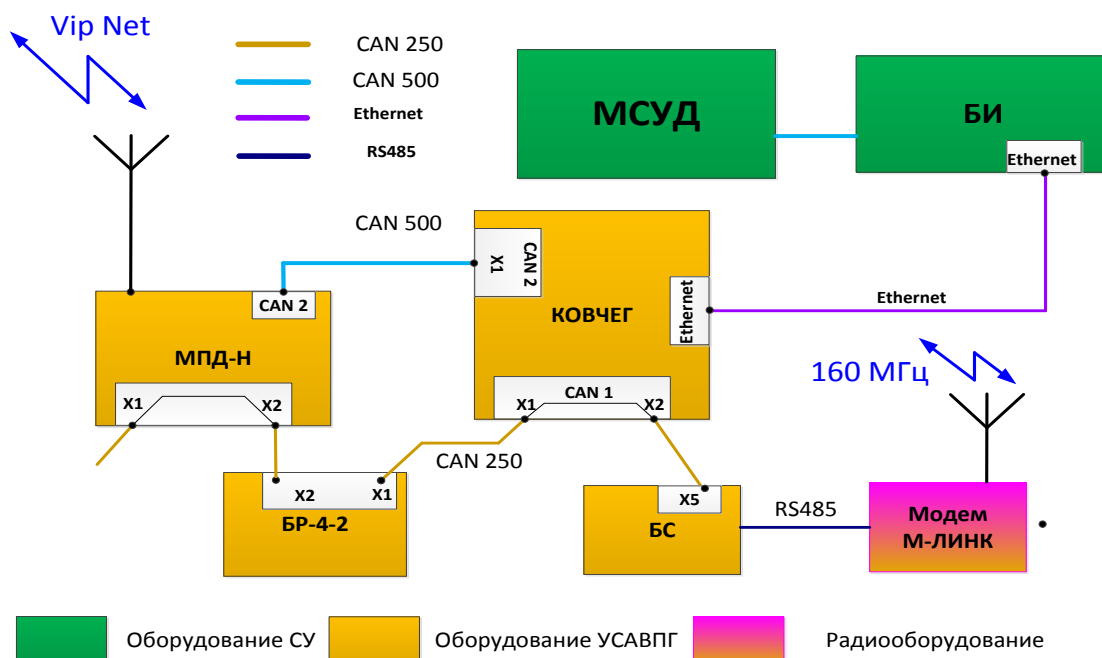


Рис. 4. Схема работы оборудования технологии СВЛ ТР

При внедрении этой новой технологии произойдет изменение структуры модели мониторинга отечественных локомотивов, произойдет изменение в регламенте работы с разными системами (рис. 5).

Внедрение беспроводной связи позволит создать систему дистанционного контроля за состоянием локомотивов и вагонов, что повысит их эксплуатационную безопасность. Операторы смогут в реальном времени отслеживать технические параметры подвижного состава, мгновенно реагируя на любые отклонения от нормы. Это, в свою очередь, будет способствовать снижению риска аварий и повышению уровня доверия пассажиров к железнодорожному транспорту.

Для оперативного получения информации о функционировании локомотивного оборудования СВЛ ТР можно создать электронный промежуточный отчет о состоянии локомотива. Этот отчет содержит множество колонок и его можно просматривать, используя ползунок в нижней части экрана. При этом шапка и столбцы «Серия», «Номер» и «Секция» остаются зафиксированными для удобства. Данные в отчете обновляются каждые 5 минут для быстрого доступа, а однажды в сутки осуществляется сохранение набора данных для доступа по выбранной дате.

**РАЗДЕЛ 1. Подвижной состав железных дорог  
(электровозы, тепловозы и вагоны)**

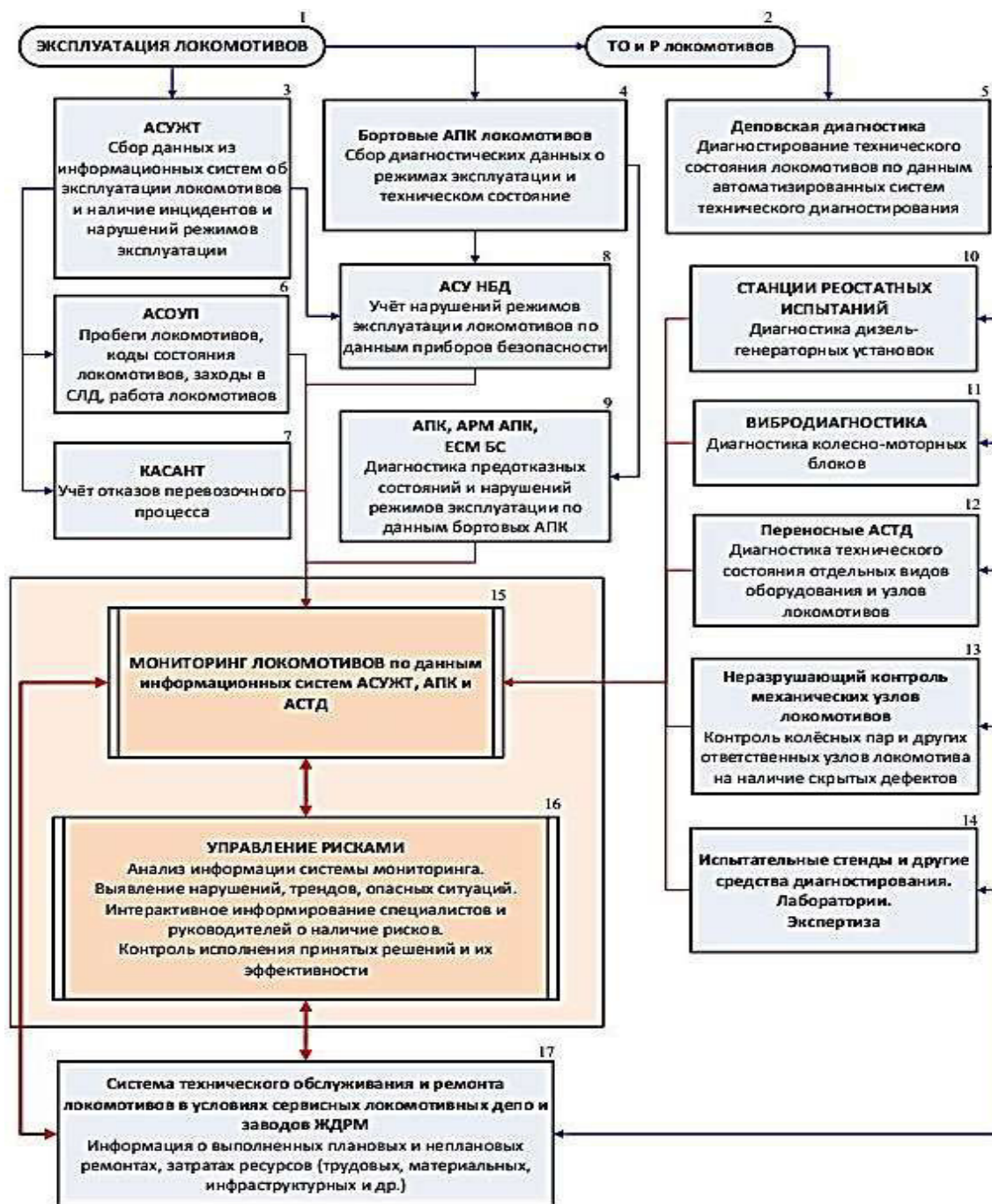


**Рис. 5.** Новая структура модели системы мониторинга локомотивов

Таким образом, внедрение данной системы обеспечит снижение воздействия человеческого фактора на безопасность движения подвижного состава, а также гарантирует:

- бесперебойное выполнение расписания движения поездов,
- автоматическое управление локомотивом от места отправления до назначения в реальном времени,



- повышение эффективности труда локомотивных бригад,
- улучшение безопасности движения и снижение нагрузки на локомотивные бригады,
- выявление неисправностей в узлах и агрегатах локомотивов,
- увеличение коэффициента технической готовности локомотива.

*Библиографический список*

1. СВЛ ТР – ТрансИнфоПроект. – URL : [www.trains-ip.ru](http://www.trains-ip.ru). – Текст : электронный.
2. Художитков, П. И. Локомотивная радиостанция РВС-1-01 : учебно-методическое пособие / П. И. Художитков, Р. А. Самедли. – Екатеринбург : УрГУПС, 2007. – 25 с. – Текст : непосредственный.
3. Зайцев, А. А. Современная нормативная база обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / А. А. Зайцев, В. В. Шматченко, П. А. Плеханов, Д. Н. Роенков, В. Г. Иванов. – Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 5 (60). – С. 60–63.
4. Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла (УРРАН): методика расчёта показателей надёжности железнодорожной электросвязи. – Москва : ОАО «РЖД», 2014. – 68 с. – Текст : непосредственный.

**О. В. Мельниченко, А. В. Коновалов, С. А. Кахаев**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

**О СЕТОЧНОЙ СХОДИМОСТИ  
ПРИ АНАЛИЗЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ  
ОСТОВА ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НБ-514Б  
ЭЛЕКТРОВОЗА «ЕРМАК» В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ «FEMAP»**

*Одним из ключевых направлений научно-технологического развития холдинга «РЖД» является реализация проекта «Цифровая железная дорога» [1]. В работе исследуются механические напряжения остова тягового электродвигателя (ТЭД) НБ-514 электровоза «Ермак» с применением метода конечных элементов (МКЭ) в программной среде FEMAP. Разработана трёхмерная модель остова и выполнено его разбиение на сетку для сравнительного анализа напряжений при различных размерах ячеек.*

*Показано, что:*

- усталостная трещина возникает в области вентиляционного и смотрового окон тягового двигателя, которая совпадает с областью максимальных механических напряжений, возникающих при неравномерном температурном расширении остова как оболочки;*
- механические напряжения могут быть примерно в 1,5 раза снижены при изменении формы смотрового и вентиляционного окна;*
- уменьшение шага сетки изменяет расчётные механические напряжения (до 20 %), однако практически не изменяет соотношение максимальных механических напряжений до и после коррекции.*

*Полученные данные имеют важное практическое значение для повышения надёжности тяговых двигателей, а также для создания цифрового двойника колёсно-моторного блока электровоза «Ермак».*

*Ключевые слова: математическое моделирование, электровоз переменного тока, тяговый электродвигатель, механические напряжения, температурные нагрузки, метод конечных элементов.*

**Введение.** Необходимость повышения надёжности тягового подвижного состава в современном железнодорожном транспорте становится все более очевидной как на практике, так и в рамках стратегического планирования [2]. Этот аспект акцентируется в многочисленных руководящих документах ОАО РЖД, включая «Белую книгу», которая формулирует ключевые цели локомотивного хозяйства. Среди них выделяются задачи, такие как увеличение среднесуточной производительности локомотива рабочего парка в грузовом движении не менее чем на 10 %, а также снижение доли неисправных локомотивов, находящихся на всех уровнях ремонта и обслуживания, до 16,3 %.

ТЭД НБ-514 и его модификации находят широкое применение в локомотивах переменного тока, таких как ВЛ85 [3] и 2(3)ЭС5К [4]. Однако выявление неисправностей, особенно трещин в остове ТЭД, является одной из наиболее распространенных причин вынужденного ремонта, что приводит к значительным экономическим потерям как из-за трудозатрат на восстановление, так и из-за вынужденного простоя электровоза.

Трещины являются критическим дефектом, проявляющимся как в новых, так и в отремонтированных двигателях, что составляет около трети всех двигателей, находящихся на ремонте [5-6]. Данная проблема подчеркивает необходимость в эффективной диагностике и профилактике повреждений, что в свою очередь требует глубокого понимания условий их возникновения и развития. Необходимость глубокого анализа механических напряжений, действующих на остов тягового двигателя,



обуславливает актуальность использования современных методов, таких как МКЭ [6].

Заварка или заделка трещин не гарантируют долговечности ремонта. В большинстве случаев сварной шов или усилительная пластина все равно подвергаются значительным механическим напряжениям, что часто приводит к повторному образованию дефектов в короткие сроки. Неаккумулированные механические нагрузки, связанные с динамикой работы ТЭД, а также температурные колебания только усугубляют напряженное состояние остова. Поэтому изучение механических напряжений, действующих на остов ТЭД, становится особенно актуальным.

Типовая трещина тягового двигателя представлена на рис. 1. Заваренные трещины представлены на рис. 2.

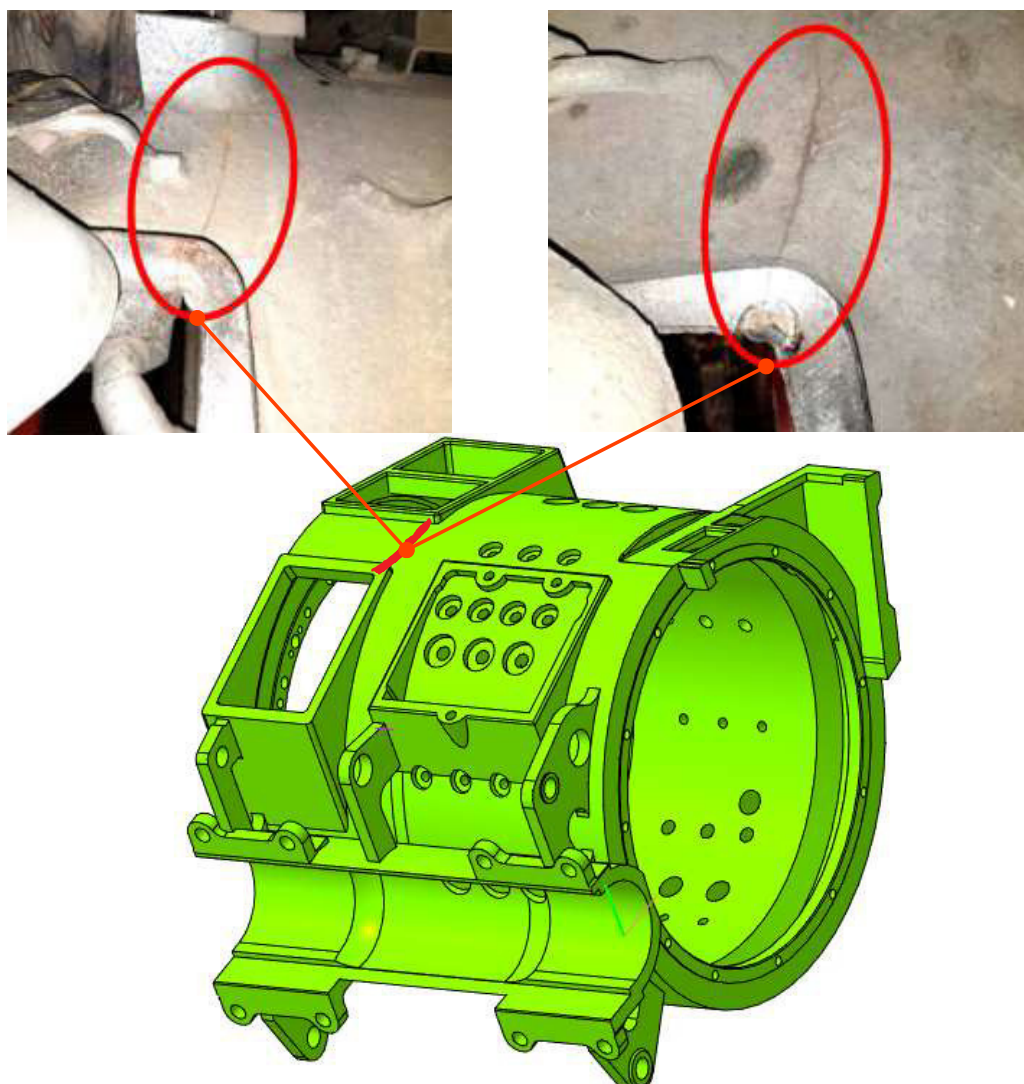


**Рис. 1.** Типовая трещина в двигателе НБ-514, возникающая в межреберном пространстве



**Рис. 2.** Заваренные трещины остова тягового электродвигателя  
электровоза серии ЗЭС5К

На основании рис. 1-2 становится очевидным, что контроль механических напряжений является критически важным для обеспечения надежной работы ТЭД электровоза. В то же время следует отметить, что в районе окон, где начинается образование трещины, контроль механических напряжений тензометрическим методом невозможен.

**Исследование.** Актуальность данной работы обуславливается образованием трещин в остовах ТЭД, а также необходимостью применения современных методов расчета для анализа механических напряжений, так как традиционные способы имеют недостаточную точность в ряде случаев неприменимы. МКЭ, иногда также упоминаемый как конечно-элементный анализ, представляет собой численный метод приближенного решения краевых (граничных) задач, имеющих место в технике и математической физике. [7]. Этот метод позволяет создать детализированные численные модели, которые учитывают геометрические особенности и физические параметры объектов. Использование программных средств, таких как FEMAP [8], способствует визуализации распределения напряжений и выявлению потенциальных зон риска, что в свою оче-

редь содействует оптимизации конструкций ТЭД и повышению их надежности. Точки закрепления остова принимаются стандартные для опорно-осевого подвешивания тягового электродвигателя НБ-514 [4]. Для выявления причин возникновения трещин создана 3D модель остова ТЭД НБ-514 (рис. 3) электровоза серии 3ЭС5К в среде КОМПАС-3D.

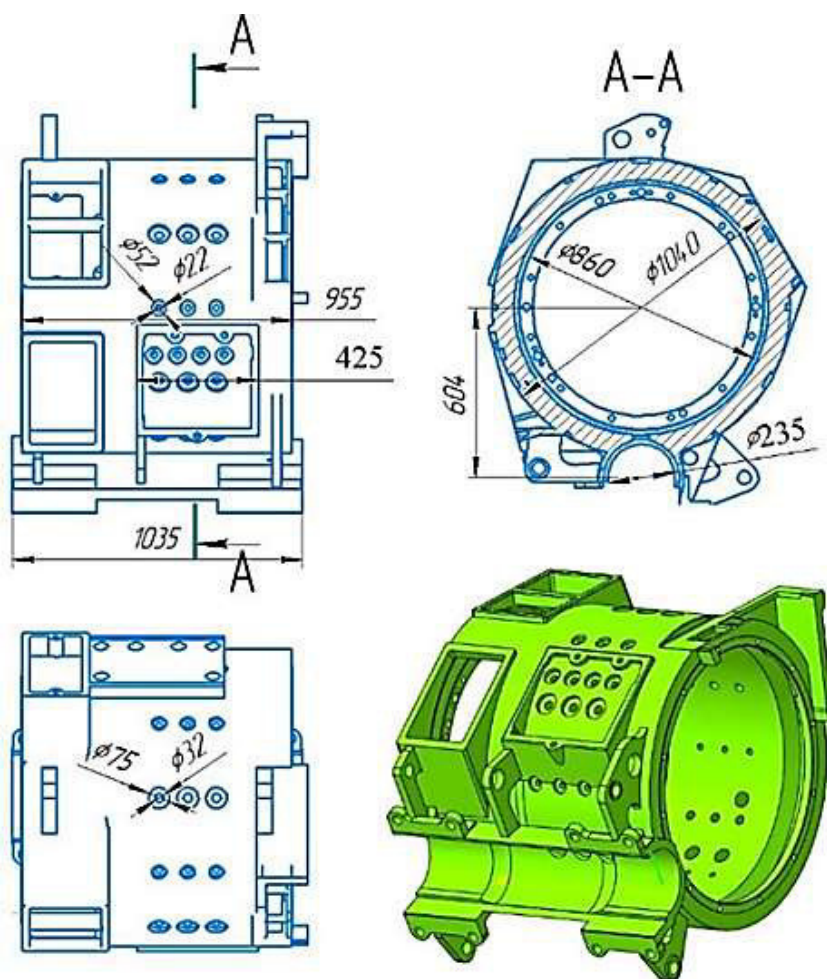


**Рис. 3.** Модель и чертеж остова тягового электродвигателя НБ-514Б электровоза 3ЭС5К

Исследование сеточной сходимости при расчете механических напряжений является важной задачей, поскольку точность результатов сильно зависит как от размеров ячеек сетки, так и от ее типа. Выбор оптимального шага сетки важен для достижения достоверных данных, при этом необходимо избегать чрезмерной нагрузки на вычислительные ресурсы. В рамках данной работы акцент будет сделан на сравнительном анализе результатов расчетов механических напряжений, возникающих при неравномерном нагреве остова при различных размерах ячеек сетки,



а также на влиянии геометрической конфигурации вентиляционных окон на распределение и величину механических напряжений.

Определение потенциальных проблемных зон и предложение путей их оптимизации помогут повысить надежность и безопасность эксплуатации электровозов, что имеет важное значение для транспортной отрасли в современных условиях [9].

Для анализа механических напряжений, вызванных температурным расширением, было проведено моделирование остова ТЭД при различных условиях температурного нагружения, используя разные шаги сетки.

Методы, применяемые для построения структурированной сетки, основываются на отображении прямоугольного (или треугольного) шаблона, заданного в логическом (параметрическом) пространстве в виде единичного квадрата (или треугольника), на четырехугольную или треугольную физическую область с криволинейными границами. Это отображение можно рассматривать как топологическое искажение квадрата (или треугольника) с целью приведения его в соответствие с рассматриваемой физической областью. Для этого границы физической области предварительно описываются аналитическими функциями, а также могут быть аппроксимированы полиномами или нелинейными уравнениями в частных производных, такими как параболические или гиперболические уравнения.

Для моделирования использовалась программа FEMAP, которая позволяет сперва провести расчет температуры при нагружении, а затем, на основе параметров температурного распределения, оценить возникающие механические напряжения. Моделирование выполнялось на компьютере с операционной системой Windows 10 (64-разрядная версия), имеющим 4 ядра процессора с частотой 3,3 ГГц и 16 Гбайт оперативной памяти.

В данной работе представлена модель температурной нагрузки, изображенная на рис. 4. Важно отметить, что нагрев двигателя происходит преимущественно со стороны обмотки статора, в то время как в области вентиляционных окон наблюдается охлаждение холодным воздухом, обладающим значительно меньшей температурой.

Типовое распределение температуры, обусловленное передачей тепла в материале остова, показано на рис. 5.

При изменении сетки, применительно к остову двигателя, вряд ли произойдут качественные изменения, и точки максимальных напряжений останутся в прежних местах. На рис. 6 представлены точки максимальных механических напряжений в остове, которые совпадают с местами вероятных зарождений трещин.

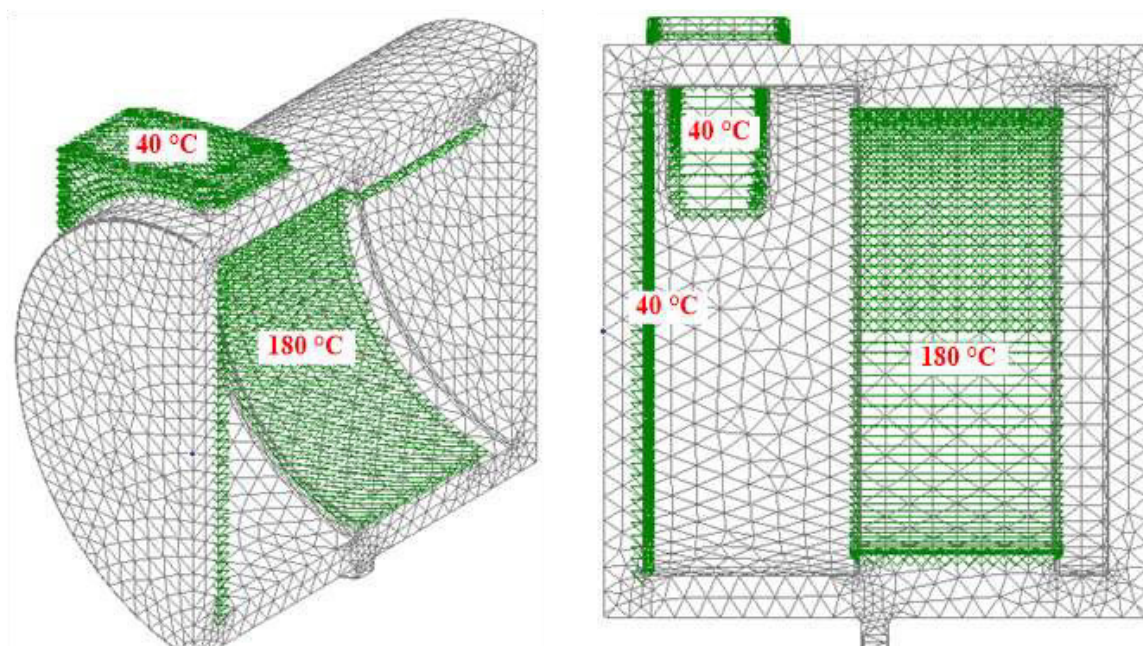


**Рис. 4.** Типовая температурная нагрузка, используемая в данной работе

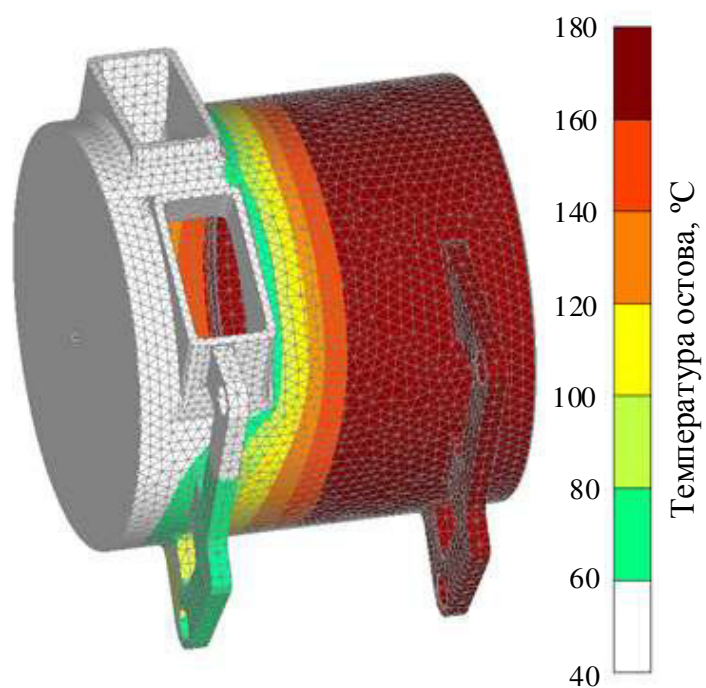


**Рис. 5.** Распределение температуры в остова при действии температурной нагрузки, представленной на рис. 4

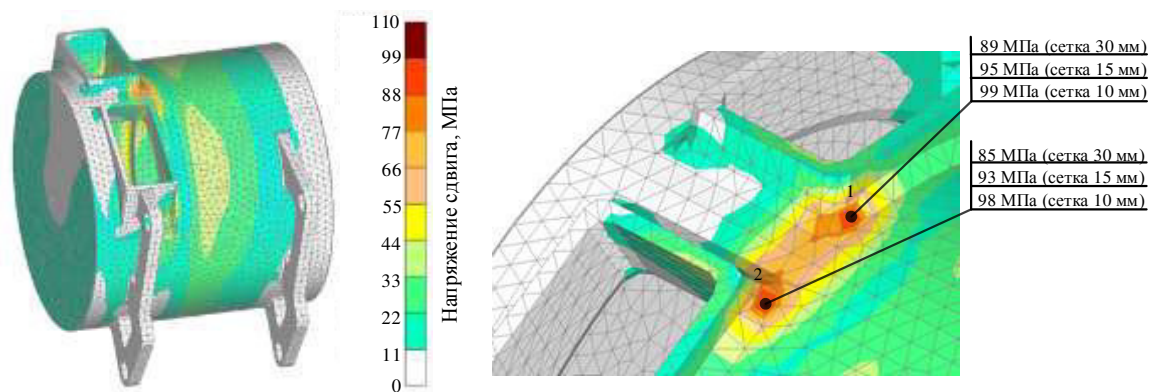


**Рис. 6.** Механические напряжения в остоле двигателя, обусловленные неравномерным распределением температуры

Очевидно, что механические напряжения в рассматриваемом остоле можно существенно снизить. Это возможно как за счет оптимизации распределения температуры с меньшим максимальным градиентом, так и за счет уменьшения концентрации напряжений в острых углах. Переход к отверстиям с большими радиусами вместо острых углов может стать эффективной мерой по снижению напряжений.

Примеры форм моделей остовов, используемых для расчетов с различными температурными распределениями, приведены на рис. 7. Механические напряжения, вызванные неравномерным нагревом, демонстрируются на рис. 8–10. Расчеты проводились при заданных шагах сетки: 30, 15 и 10 мм, при этом сетка условно представлена на примере шага 30 мм.

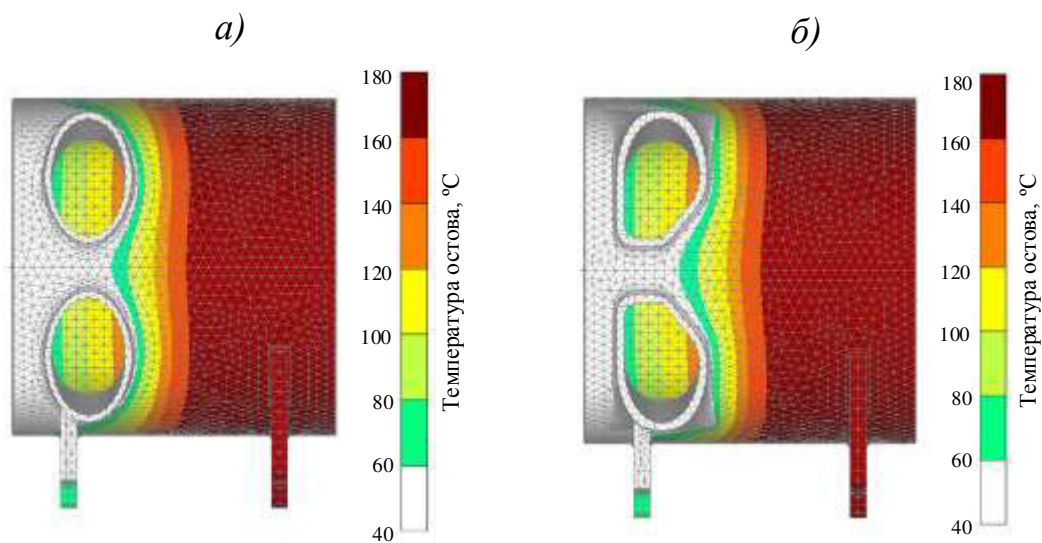


**Рис. 7 (начало).** Формы модернизированных отверстий и соответствующий температурный градиент: а) овальная форма; б) комбинированная форма; в) трапециевидальная форма



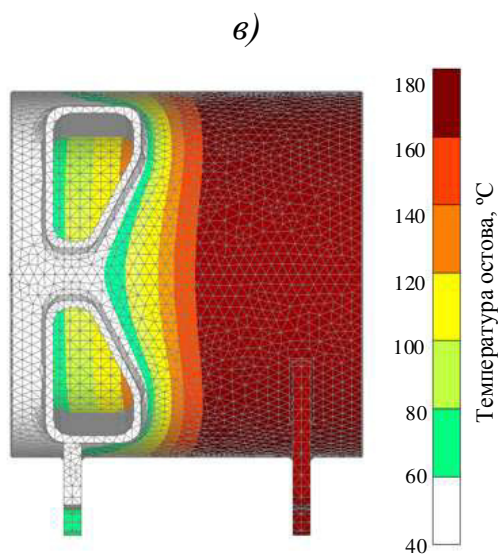


**Рис. 7 (окончание).** Формы модернизированных отверстий и соответствующий температурный градиент: а) овальная форма; б) комбинированная форма; в) трапецидальная форма

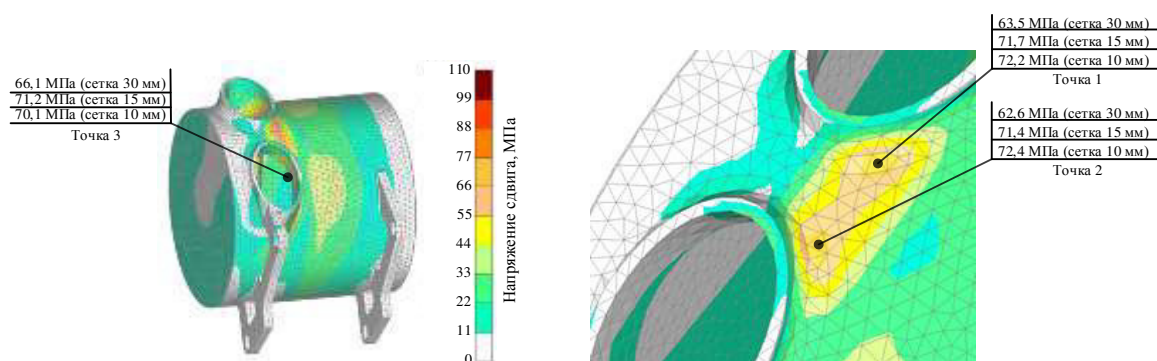


**Рис. 8.** Механические напряжения при овальной форме отверстий

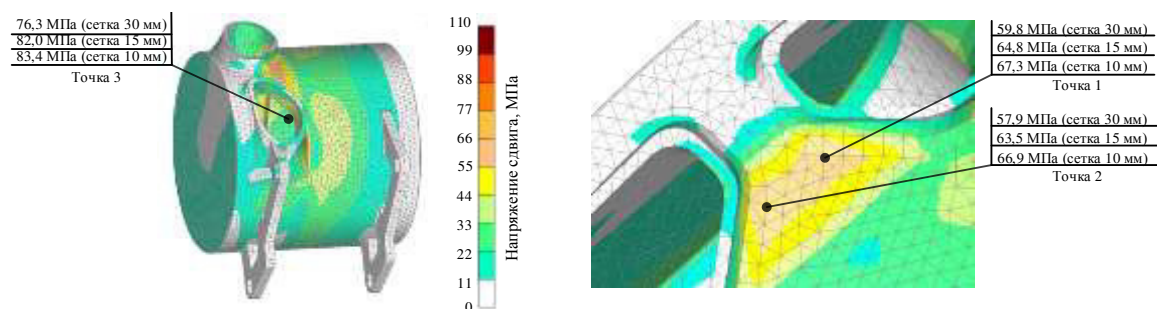


**Рис. 9.** Механические напряжения при комбинированной форме отверстий

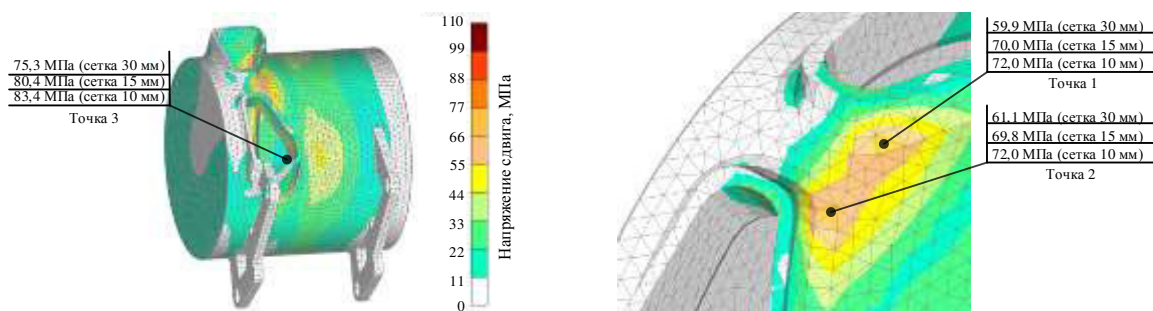


**Рис. 10.** Механические напряжения при трапециидальной форме отверстий

Данные о механических напряжениях в точках, где они достигают максимальных значений, для стандартного остова и остовов с модернизированными отверстиями представлены в табл. 1. Эти данные позволяют проанализировать эффективность предлагаемых изменений в конструкции остова. В табл. 2 представлена информация о снижении механических напряжений по сравнению с показателями стандартного остова. Эти результаты демонстрируют преимущества применения модернизированных смотровых и вентиляционных отверстий, переход к которым может значительно повысить устойчивость конструкции к термическим и механическим воздействиям и продлить срок службы.

*Таблица 1*

**Максимальные механические напряжения,  
вызванные температурным распределением, МПа**

| Сетка, мм    | 10   |      |      | 15   |      |      | 30   |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Точки        | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    |
| 1 (штатный)  | 99,4 | 98,2 | 88,1 | 96,1 | 92,9 | 79,3 | 89,2 | 86,6 | 72,4 |
| 2 (овальный) | 72,2 | 72,4 | 70,1 | 71,7 | 71,4 | 71,2 | 63,5 | 62,6 | 66,1 |
| 3 (комбин.)  | 67,3 | 66,9 | 83,4 | 64,8 | 63,5 | 82,0 | 59,8 | 57,9 | 76,3 |
| 4 (трапец.)  | 72,0 | 72,0 | 83,4 | 70,0 | 69,8 | 80,4 | 59,9 | 61,1 | 75,3 |

*Таблица 2*

**Уменьшение напряжений в точках  
при изменении сетки относительно штатного, ед**

| Сетка, мм    | 10   |      |      | 15   |      |      | 30   |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Точки        | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 3    |
| 2 (овальный) | 1,38 | 1,36 | 1,26 | 1,34 | 1,30 | 1,11 | 1,40 | 1,38 | 1,10 |
| 3 (комбин.)  | 1,48 | 1,47 | 1,06 | 1,48 | 1,46 | 0,97 | 1,49 | 1,50 | 0,95 |
| 4 (трапец.)  | 1,38 | 1,36 | 1,06 | 1,37 | 1,33 | 0,99 | 1,49 | 1,42 | 0,96 |

Наиболее оптимальным вариантом для коррекции данных, представленных в табл. 1, является остов с овальной формой окон. В этом варианте механические напряжения более равномерно распределяются как вблизи внутренней поверхности (точка 3), так и наружной (точки 1 и 2) остова.

Анализ таблиц показывает, что для выбранных точек изменение механических напряжений, вызванное уменьшением шага сетки, достигло 20 %. Однако относительное уменьшение механических напряжений, связанное с изменением формы окон при переходе от сетки 30 мм к 10 мм, не превышает 8 %. Это связано в основном с перераспределением механических напряжений между наружной и внутренней поверхностями остова двигателя.

Важно отметить, что время расчета на указанном компьютере на шаге сетки 30 мм составляло около 15 минут, в то время как при шаге 10 мм расчет потребовал около 6 часов. Это значительно усложняет выбор оптимального шага в зависимости от ресурсов вычислительной аппаратуры.

Работа выполнена в рамках государственного задания по государственной работе «Проведение прикладных научных исследований» на тему «Разработка цифрового двойника колёсно-моторного блока электровоза «Ермак» серии 2(3)ЭС5К» № 124060500020-4 от 05.06.2024.

**Заключение.** В результате проведенного исследования моделирования механических напряжений, возникающих при температурном нагружении остова ТЭД, было установлено, что усталостная трещина формируется в области между вентиляционным и смотровым окном, где сосредоточены максимальные механические напряжения, обусловленные неравномерным температурным расширением остова как оболочки.

Работа продемонстрировала, что изменение формы смотрового и вентиляционного окон позволяет снизить механические напряжения примерно в 1,5 раза, что свидетельствует о значительном влиянии конструкции на прочностные характеристики изделия. При этом уменьшение шага сетки в расчетах также изменяет значения механических напряжений до 20 %. Однако изменение соотношения максимальных напряжений до и после коррекции оказалось существенно менее значительным и составило не более 8 %.

Полученные результаты имеют критическое значение для дальнейшего развития цифрового двойника колёсно-моторного блока электровоза, а также подчеркивают важность оптимизации геометрии окон для улучшения прочности остова ТЭД.

*Библиографический список*

1. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении Стратегии развития транспортного машиностроения Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по её реализации : распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.08.2017 № 1756-р. – Текст : непосредственный.
2. ОАО «Российские железные дороги». Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года : распоряжение от 17 апреля 2018 года № 769/р (Белая книга). – Текст : непосредственный.
3. Тушканов, Б. А. Электровоз ВЛ-85 : руководство по эксплуатации / Б. А. Тушканов, Н. Г. Пушкарев, Л. А. Позднякова. – Москва : Маршрут, 1992. – 480 с. – Текст : непосредственный.
4. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К) : руководство по эксплуатации / Новочеркасский электровозостроительный завод. – Новочеркасск, 2007. – Том 1. – 635 с. ; Том 2. – 640 с. – Текст : непосредственный.
5. Портной, А. Ю. Математическое моделирование механических напряжений, возникающих при неравномерном нагреве остова тягового электродвигателя НБ-514 / А. Ю. Портной, К. П. Селедцов, О. В. Мельниченко // Молодая наука Сибири : электронный научный журнал. – 2021. – № 1 (11). – URL : <https://mnv.irgups.ru/matematiceskoe-modelirovanie-mehnicheskikh-napryazheniy-voznikayushchih-pri-neravnomernom-nagreve> (дата обращения: 21.10.2024). – Текст : электронный.
6. Каменев, С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях : учебное пособие / С. В. Каменев. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 110 с. – Текст : непосредственный.
7. Зенкевич, О. К. Метод конечных элементов в технике [перевод с английского] / О. К. Зенкевич ; под редакцией Б. Е. Победри. – Москва : Мир, 1975. – 541 с.: ил.; 22 см. – Библиогр.: с. 7–25, 28–29. – Текст : непосредственный.
8. Рычков, С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran / С. П. Рычков. – Москва : ДМК Пресс, 2013. – 784 с.: ил. – ISBN 978-5-94074-638-6. – Текст : непосредственный.
9. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года [утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р]. – Текст : непосредственный.

**С. З. Овсейчик**

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

## **ВАРИАНТ ОРГАНИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

*В статье рассматриваются варианты построения устройств диагностики технических объектов, в т. ч. и устройств электроподвижного состава. Описано использование метода параметрической идентификации математической модели объекта и возможность его использования для определения технического состояния проверяемого устройства. Предлагается вариант организации портативного устройства диагностики на базе смартфона.*

*Ключевые слова: техническая диагностика, метод диагностирования, смартфон, электромеханический преобразователь, обмотка.*

Стремительное развитие средств микропроцессорной и микроконтроллерной техники открывает широкие возможности для разработки и внедрения портативных, наделенных широким функционалом средств контроля и диагностики различных технических объектов. Такие средства оказываются востребованными при выполнении различных контрольно-диагностических операций при проведении технического обслуживания локомотивов. Ниже рассматривается возможный вариант организации подобных устройств.

В настоящее время большинство систем, реализующих тестовое диагностирование, организованы по классической схеме, описанной в [1]. Ее упрощенная схема показана на рис. 1. Система включает в себя источник тестового воздействия ИВ, который формирует (в общем случае) вектор выходных тестовых сигналов  $\vec{X}$ , компоненты которого могут быть разделены как в пространстве, так и во времени. Эти сигналы одновременно подаются и на объект диагностирования ОД и (возможно) на его физическую модель ФМ. Под физической моделью объекта при этом понимается аппаратура средств диагноза, хранящая информацию о поведении объекта в исправном и неисправных состояниях, или другой носитель этой информации [1]. Примером такой модели может быть исправное электромагнитное реле. При этом следует отметить, что наличие ФМ не является обязательным атрибутом системы. Действие тестового сигнала приводит к появлению на выходах ОД вектора выходных функций  $\vec{Z}^*$ , которые несут информацию о реальном техниче-



ском состоянии объекта. На выходе ФМ появляются векторы  $\vec{Z}$  (для исправного состояния) и множество  $\{\vec{Z}_i\}$ , каждый элемент которого соответствует определенному неисправному состоянию. Результат диагностики формируется в БРР – блоке расшифровки результатов путем сопоставления фактического  $\vec{Z}^*$  и возможных  $\vec{Z}$ ,  $\{\vec{Z}_i\}$  значений. Характерной чертой описываемой системы является обязательное наличие набора фиксированных откликов объекта для различных его технических состояний.

Следует отметить, что такая организация системы обычно реализуется в виде единой конструктивной установки стационарного типа.

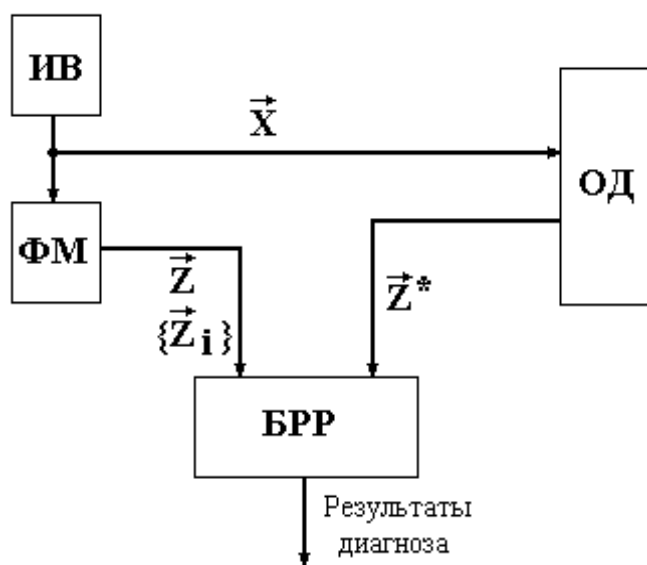


**Рис. 1.** Упрощённая функциональная схема системы тестового диагностирования в классическом её варианте

Появление высокопроизводительных, портативных устройств вычислительной техники, каковыми по сути являются современные смартфоны, позволяет создавать мобильные устройства тестового диагностирования, основой которых являются математические модели функционирования объекта контроля.

Математическая модель включает в себя систему уравнений. Параметрами уравнений являются структурные параметры объекта. Например – электрическое сопротивление, индуктивность, постоянная времени и т.д. Величины этих параметров в совокупности определяются фактическим техническим состоянием объекта диагностирования. Математическую модель объекта можно представить в следующем виде:

$$\vec{Z} = \varphi(\vec{X}, \vec{P}, t),$$



здесь  $\vec{P}$  – вектор параметров уравнений математической модели,  $\vec{X}$  – вектор тестового воздействия,  $t$  – время.

Задача по определению технического состояния окажется сведенной к определению значений компонент вектора  $\vec{P}$ . Подобная задача является задачей параметрической идентификации математической модели.

Ниже приведена функциональная схема системы тестового диагностирования, использующая математическую модель объекта.

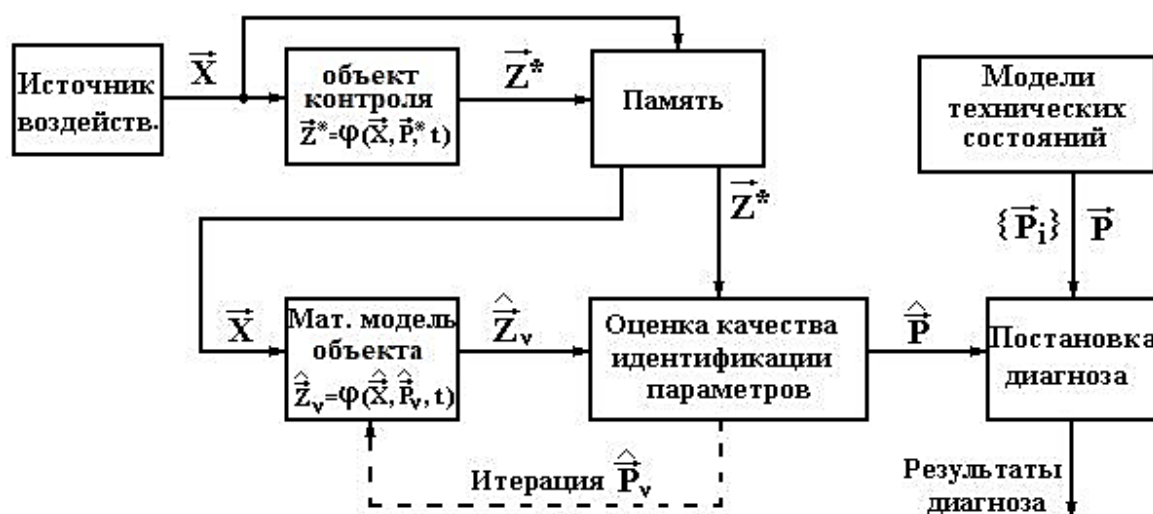


Рис. 2. Функциональная схема системы тестового диагностирования с использованием математической модели объекта контроля

Как и выше, имеется источник тестового воздействия, который формирует вектор тестового воздействия  $\vec{X}$ . Тестовый сигнал подается одновременно и на объект контроля и запоминается в памяти для многократного его воспроизведения в последующем. В память записывается и реакция объекта на тестовый сигнал  $\vec{Z}^*$ . Он потребуется для оценки качества идентификации. По окончании действия тестового сигнала начинается итерационный процесс определения значений компонент вектора  $\vec{P}$ . На каждом шаге итерации производится моделирование процессов в объекте с новым текущим сочетанием параметров модели. По окончании очередного моделирования проводится оценка близости векторов  $\vec{Z}^*$  и  $\hat{\vec{Z}}$ . Такая оценка может быть сделана различными способами. Например, в виде [2]:

$$H(v) = \sum_{k=1}^m [\vec{Z}^*(k) - \hat{\vec{Z}}_v(k)]^T [\vec{Z}^*(k) - \hat{\vec{Z}}_v(k)],$$

где  $k$  – индекс выходной функции векторов  $\vec{Z}$  и  $\vec{Z}^*$ ,  $m$  – общее число выходных функций,  $v$  – номер итерации вектора  $\hat{\vec{P}}$ .

Итерационный процесс заканчивается тогда, когда значение  $H(v)$  принимает минимальное значение. Текущие значения компонент вектора  $\hat{\vec{P}}$  принимаются за фактические величины. Далее выполняется постановка результата диагноза на основе сопоставления значений  $\hat{\vec{P}}$  с параметрами, которые соответствуют исправному состоянию, либо одному из неисправных.

Как следует из содержания рис. 2, устройство, реализующее рассматриваемый принцип диагностирования, должно содержать следующие основные составляющие:

- источник тестового воздействия;
- датчики для приема потока исходной диагностической информации  $\vec{Z}^*$ ;
- память, для запоминания массивов  $\vec{X}$  и  $\vec{Z}^*$ ;
- вычислительное устройство для реализации математической модели объекта.

Как отмечалось выше, современные смартфоны обладают значительной вычислительной мощностью, быстродействием и объемом памяти. Поэтому, они вполне могут выполнять функции вычислительного устройства и памяти. Источник тестового воздействия, датчики сигналов составляют отдельное переносное устройство. Канал передачи информации потоков  $\vec{X}$  и  $\vec{Z}^*$  от датчиков на смартфон обеспечивается по каналу WiFi с использованием специализированного микроконтроллера.

Подобная организация устройства диагностирования имеет следующие положительные особенности:

- сравнительная дешевизна устройства за счет использования обычного смартфона в качестве вычислительной системы;
- имеется постоянный резерв в повышении качества диагностирования за счет возможности постоянного совершенствования математической модели объекта диагностирования. При этом не требуется изменение конструкции устройства и отсутствуют затраты на техническую модернизацию;
- имеется постоянный резерв в повышении качества диагностирования за счет возможности постоянного совершенствования (или использования иных) математических методов обработки диагностической информации. При этом не требуется изменение конструкции устройства и отсутствуют затраты на техническую модернизацию;

– имеется возможность ведения базы данных с результатами диагностирования и с исходной первичной диагностической информацией. Это может быть полезным как для совершенствования методики диагностирования, так и для решения задач генезиса объекта.

Применительно к локомотивному хозяйству, объектами диагностирования могут быть те устройства, функционирование которых сопряжено с изменениями во времени поддающихся измерению величин. Например: токи в обмотках аппаратов, напряжения на отдельных элементах, давление воздуха в пневматических цепях, акустические колебания. В качестве примеров таких устройств можно рассматривать электромагнитные, электродвигательные, электропневматические приводы аппаратов, обмотки электрических аппаратов и электродвигателей, изоляционные конструкции.

#### *Библиографический список*

1. Основы технической диагностики. Часть 1 / под редакцией П. П. Пархоменко. – Москва : Энергия, 1976. – 464 с. – Текст : непосредственный.
2. Камаев, В. А. Математическое моделирование изделий и технологий / В. А. Камаев, В. А. Гришин. – Волгоград : ВПИ, 1986. – 193 с. – Текст : непосредственный.
3. Овсейчик, С. З. Визуализация процессов, протекающих в пневматической системе подвижного состава / С. З. Овсейчик, А. В. Ларченко, П. К. Роговский. – Текст : непосредственный // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017615371, 15.05.2017. Заявка № 2017612218 от 20.03.2017.
4. Бузмакова, Л. В. Методика диагностирования выпрямительно-инверторных преобразователей электровозов переменного тока / Л. В. Бузмакова, С. В. Власьевский, С. З. Овсейчик. – Текст : непосредственный // Электротехника. – 2016. – № 2. – С. 24–27.

**С. А. Петухов, А. Д. Росляков, Л. С. Курманова**  
*Приволжский государственный университет путей сообщения,  
г. Самара, Россия*

### **ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*Большое значение для современного подвижного состава имеет проблема организации системы смазки подшипниковых узлов. Обеспече-*

*ние надёжности работы подшипниковых узлов подвижного состава заключается в своевременном и равномерном распределении тепла и его качественном отводе из рабочей зоны подшипниковых узлов. В статье подробно рассмотрены виды смазки для подшипников качения. Основное внимание уделено смазке масляным туманом. Данный способ позволяет при минимальном расходе смазочного материала достаточно эффективно отводить тепло и обеспечить низкий коэффициент трения подшипников.*

*Ключевые слова: смазка, масляный туман, подвижной состав, экипажная часть, подшипники качения.*

Важнейшую роль в процессе работы подшипниковых узлов подвижного состава играет организация системы смазки подшипников. Подшипниковые узлы экипажной части подвижного состава работают в очень напряженных условиях, поэтому недостаточный уровень или неграмотно подобранный смазочный материал приведет к повышенной интенсивности износа материалов подшипникового узла и сокращению срока его службы [1, 2].

Как показывают статистические данные, неплановые ремонты локомотивов, связанные по причине преждевременного выхода из строя подшипниковых узлов экипажной части составляют около 40 %. Основными критериями, влияющими на срок службы подшипниковых узлов подвижного состава, являются грамотно организованная система смазки, а также отсутствие браковочных показателей в смазочном материале в межремонтном периоде [3].

В связи с возросшими скоростями движения подвижного состава, наряду с эксплуатационными методами в структуре управления надежностью подшипниковых узлов важную роль играют и конструкторско-технологические методы [4, 5].

Анализ существующих видов смазки показал, что с постоянно растущими скоростями движения в подшипниковых узлах подвижного состава целесообразно применять систему смазки масляным туманом (Таблица).

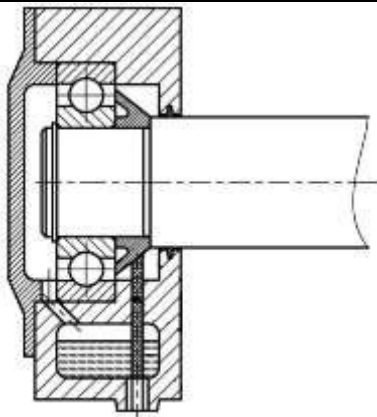
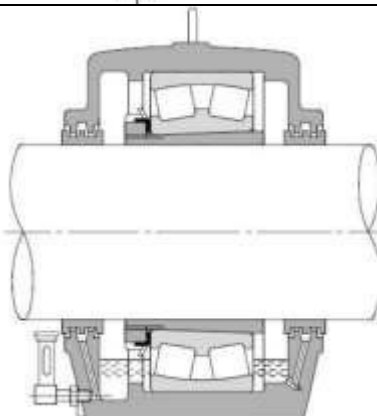
Данная система смазки объединяет в себе целый ряд преимуществ, в отличие от существующих систем:

- высокая гомогенность (одинаковость размеров частиц) масляного тумана;
- постоянная подача смазочного материала, приостанавливается только в случае образования масляной капли;
- рациональное использование смазочного материала, что снижает его потребление в 1,5-2 раза;

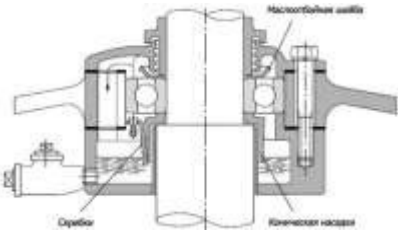
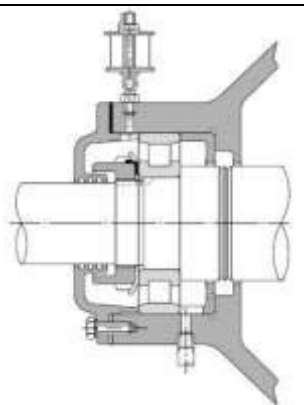
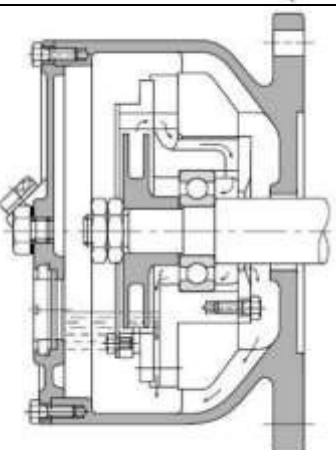
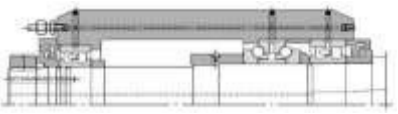
– увеличение межремонтных периодов при более высоком сроке службы и сокращенном расходе масла.

*Таблица*

**Анализ существующих видов смазки подшипниковых узлов подвижного состава**

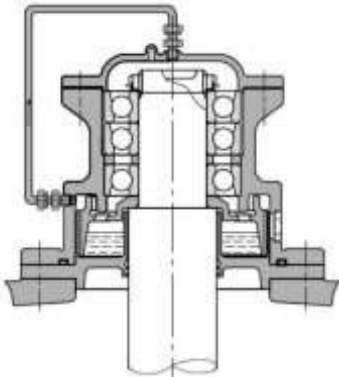
| № п/п | Вид смазки             | Схема                                                                               | Особенности применения                                                                                                                                                                 | Недостатки                                                                                                         |
|-------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Фитильная              |   | Эффективно применяются в узлах, работающих с перерывами и с малыми скоростями и нагрузками                                                                                             | Для смазки маслами с присадками не рекомендуется                                                                   |
| 2     | Окунание               |  | Эффективно применяется в крупных роликоподшипниках, работающих непрерывно продолжительное время                                                                                        | Наблюдается насосный эффект. Неэффективно при высоких скоростях движения                                           |
| 3     | Смазка разбрызгиванием |                                                                                     | При малой частоте вращения, обеспечивает надежное смазывание подшипников. При большей частоте вращения необходимы дополнительные устройства для ограничения подачи масла в зону трения | Попадание продуктов износа сопряженных деталей в зону трения подшипникового узла. Смазывание одним и тем же маслом |

Продолжение Таблицы

| № п/п | Вид смазки                           | Схема                                                                               | Особенности применения                                                                                                                                                                                               | Недостатки                                                                                                                                   |
|-------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4     | Смазка с помощью конических насадок  |    | Для лучшей дозировки масла конические насадки снабжаются скребками, снимающие излишки масла, и маслостойкой шайбой, которая сбрасывает масло в отводной канал, по которому оно возвращается обратно в масляную ванну | Недостаточное количество смазочного материала при запуске. Необходимо дополнительное оборудование за контролем качества смазочного материала |
| 5     | Капельная смазка                     |   | Применяется для подшипниковых узлов в горизонтальном и вертикальном исполнении в широком интервале частот вращения                                                                                                   | Зависимость количества подаваемого смазочного материала от уровня его в корпусе масленки                                                     |
| 6     | Смазка с помощью маслоподающих колец |  | Применяется для смазывания подшипниковых узлов, работающих при высоких скоростях и рабочих температурах                                                                                                              | Попадание механических примесей в зону трения из атмосферы из-за отсутствия эффективной защиты                                               |
| 7     | Масляным туманом                     |  | Получение масляной аэрозоли за счет принципа пульверизации. Защита от попадания внешних загрязнений за счет избыточного давления внутри подшипникового узла                                                          | Дополнительное оборудование для получения и очистки сжатого воздуха                                                                          |



## Окончание Таблицы

| № п/п | Вид смазки     | Схема                                                                             | Особенности применения                                           | Недостатки                                              |
|-------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 8     | Циркуляционная |  | Постоянная подача в зону трения под давлением с помощью форсунки | Поступление чрезмерного количества смазочного материала |

Применение технологии «масляного тумана» (см. Рисунок), в системе смазки подшипниковых узлов подвижного состава основанное на принципе пневматического распыления, может применяться в экипажной части для смазывания подшипников качения, а также в двигателях внутреннего сгорания для смазывания подшипников коленчатого вала.

Принцип работы системы смазки масляным туманом основан на распылении смазочного материала сжатым воздухом на мельчайшие частицы размером от 2 до 5 мкм и подачу этих частиц в поток воздуха в зону трения.

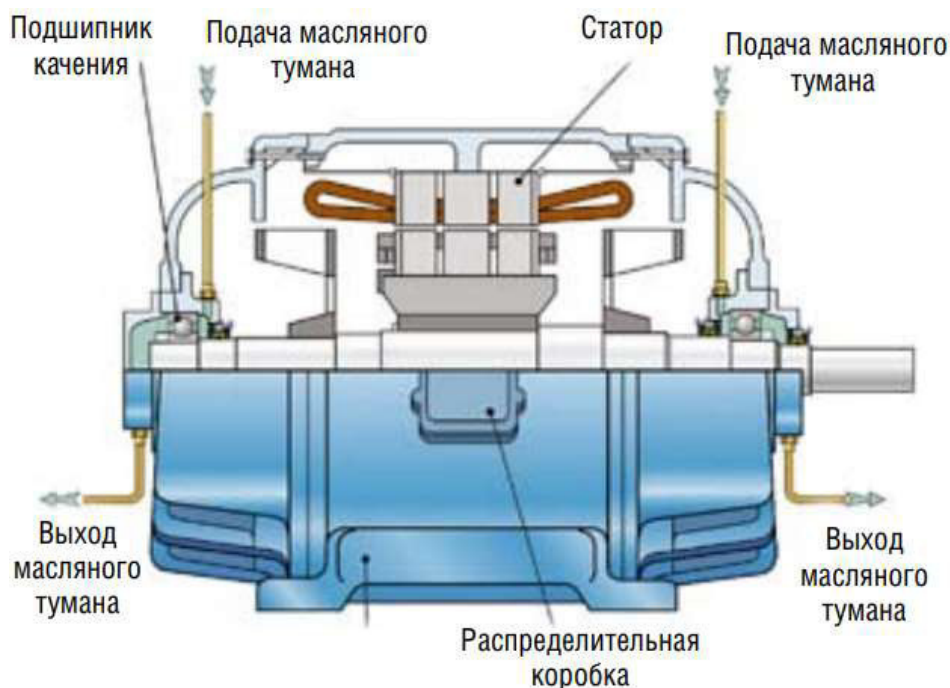


*Рисунок.* Схема смазки масляным туманом

Смазка масляным туманом подшипников качения в элементах экипажной части подвижного состава позволит снизить затраты на техническое обслуживание, а также на расход смазочных материалов.

*Библиографический список*

1. Петухов, С. А. Оценка технического состояния дизелей тепловозов в эксплуатации по результатам анализа моторного масла / С. А. Петухов, Л. С. Курманова, Д. С. Чинченко. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 1. – С. 74–78.

2. Петухов, С. А. Оценка эффективности работы интеллектуальной смазочной системы / С. А. Петухов, Л. С. Курманова, М. П. Ерзамаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : сборник статей XVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 24–25 октября 2022 года. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 575–580.

3. Петухов, С. А. Совершенствование режимов запуска тепловозных дизелей / С. А. Петухов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта : материалы 2-й Международной научно-практической конференции, Самара, 07–08 декабря 2005 года. – Самара : СамГАПС, 2006. – С. 242–243.

4. Лазарев, Е. А. Анализ причин внеплановой замены моторного масла дизелей тепловозов и мероприятия по их недопущению / Е. А. Лазарев, С. А. Петухов, В. Е. Лазарев [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 5(77). – С. 100–109.

5. Петухов, С. А. Оценка технического состояния дизелей тепловозов в эксплуатации по результатам анализа моторного масла / С. А. Петухов, Л. С. Курманова, Д. С. Чинченко. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 1. – С. 74–78.

***Е. Л. Рыжова***

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

**НОВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ  
ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

*В диэлектрических материалах обмоток тяговых электродвигателей локомотивов могут происходить различные процессы, которые*

*со временем приводят к разрушению изоляции. Для предотвращения таких отказов важно проводить регулярные диагностики и использовать качественные изоляционные материалы, а также соблюдать рекомендации по эксплуатации и обслуживанию электродвигателей. В статье приведён обзор основных существующих и инновационных методов, применяемых при диагностировании состояния изоляции обмоток тяговых электродвигателей, теория выбора параметров, средств и способов диагностики, принципы процессов её проведения.*

*Ключевые слова: тяговые электродвигатели, изоляционный материал, состояние изоляции, старение изоляции, диагностические комплексы, повышение надёжности.*

Создание и внедрение систем диагностики является ключевым аспектом для повышения надёжности тягового подвижного состава. Разработка современной системы мониторинга, диагностики тяговых электродвигателей (ТЭД) локомотивов позволяет отслеживать состояние агрегатов и узлов в режиме реального времени, заранее выявить неисправности, а также планировать техническое обслуживание и ремонт подвижного состава. Использование бортовых системы диагностики дает возможность автоматически анализировать данные о работе локомотива, а переносные приборы, дублирующие операции, выполняемые стационарными и бортовыми устройствами, позволяют проводить диагностику на местах, что существенно уменьшает время простоя тягового подвижного состава. С их помощью можно передавать диагностические данные для обработки в память вычислительных устройств. Стационарные диагностические комплексы могут быть использованы для регулярных и углубленных исследований фактического состояния тягового подвижного состава. Создание единой базы, где будут храниться данные о состоянии всех агрегатов и узлов ТЭД, позволит повысить качество диагностики и принять обоснованные решения по их техническому обслуживанию. Хранение данных о фактическом состоянии локомотива, истории его работы, в том числе данные о ремонте и замене оборудования, поможет прогнозировать проблемы при эксплуатации и улучшить процессы обслуживания в будущем.

Важным фактором для оценки надёжности локомотивов, их безотказной работы в условиях эксплуатации является прочность изоляции обмоток ТЭД. Устаревшие системы диагностики изоляции обмоток тяговых электродвигателей могут не обнаружить отказы своевременно, на начальных этапах их развития, что повышает риск выхода оборудования из строя и ведет к увеличению эксплуатационных затрат. Для по-

вышения надежности изоляции обмоток тяговых электродвигателей необходимо внедрение новых методов диагностики, которые могут значительно повысить эффективность выявления потенциальных отказов. Создание автоматизированных систем мониторинга позволит в режиме реального времени отслеживать состояние изоляции, выявлять неисправности и предупреждать возможные отказы. При этом регулярные контроль и техническое обслуживание состояния обмоток, обучение технического персонала по новым методикам диагностики помогут оперативно выявлять и устранять неисправностей. Разработка и применение современных материалов для изоляции могут продлить срок службы обмоток и улучшить их стойкость к внешним воздействиям [1, 2].

Как показывает практика, система обеспечения надежности изоляции по пробегу не является оптимальной. Механизмы старения изоляции зависят от множества факторов, таких как температура, влажность, наличие загрязнений условий эксплуатации. Поэтому необходимо применять более точные методы диагностики состояния изоляции обмоток электродвигателей. Например, использование методов частотного анализа, термографического контроля может дать более полное представление о состоянии изоляции. Кроме того, систематизированный подход к диагностике состояния изоляции в сочетании с профилактическим техническим обслуживанием, включая чистку, пропитку и сушку изоляции могут предотвратить серьезные повреждения, повысить надежность работы и увеличить срок службы электродвигателя [3].

Анализ причин аварийных режимов работы тяговых электрических машин показал, что необходимо учитывать необратимый процесс пробоя изоляции, при возникновении которого из-за перегрева происходит изменение структуры материала изоляции, что может привести к необратимым повреждениям и потребует полная ее замена. При достижении критической температуры между электродами изоляционного промежутка может образовываться плазменный канал, который является начальным этапом разрушения изоляционных свойств материала.

Наличие влаги в диэлектрике увеличивает проводимость изоляции, что может привести к коротким замыканиям и пробоям и значительно снизить изоляционные свойства материалов. В результате этого снижается сопротивление изоляции, увеличиваются диэлектрические потери и уменьшается ее механическая прочность.

В процессе старения изоляции могут возникать как постепенные, так и внезапные отказы, обусловленные физическим разрушением структуры материала, химическими реакциями и деградацией свойств изоляционного материала [1, 2]. Поэтому для обеспечения надежной ра-

боты ТЭД важно проводить регулярный мониторинг состояния изоляции, оценивать её параметры и проводить профилактические мероприятия, которые помогут избежать аварийных ситуаций.

Достоверность диагностирования и точность поиска местонахождения неисправности тем выше, чем больше исследовано параметров, характеризующих объективное техническое состояние электрической изоляции.

В настоящее время наиболее распространенным для диагностики возникающих в изоляции ТЭД дефектов являются методы контроля изоляции, основанные на измерениях сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь. Наличие сквозных токов проводимости в изоляции определяет величина сопротивления, резкое уменьшение которого свидетельствует о значительной степени развития дефектов. Для того чтобы судить об истинном состоянии изоляции, необходимо определить не только ее сопротивление, но и электрическую емкость, которая позволяет определить, сухая изоляция или увлажнённая. Специальные приборы для контроля влажности изоляции по величине коэффициента абсорбции и по тангенсу угла диэлектрических потерь не нашли широкого применения в депо.

Исследования, направленные на улучшение методов диагностики состояния изоляции в обмотках электродвигателей показали, что определение емкости изоляции путем анализа напряжения саморазряда и возвратного напряжения позволяет более точно оценить ее состояние по сравнению с существующими методами измерения сопротивления диэлектрика.

Напряжение саморазряда остается на изолирующем объекте после его отключения от источника энергии и постепенно снижается. Чем быстрее происходит снижение напряжения саморазряда, тем меньше емкость при постоянном сопротивлении. Это соотношение может быть использовано для вычисления электрической емкости изоляции, если известны сопротивление изоляции и значения напряжения саморазряда.

Возвратное напряжение измеряется после кратковременного разряда изоляции на «землю». Его значение позволяет оценить неоднородность изоляционных слоев. Чем выше возвратное напряжение, тем лучше состояние изоляции, а его низкое значение может указывать на наличие дефектов. Универсальные приборы, такие как электронные мегомметры, могут применяться в процессе измерения рассмотренных параметров. Например, модель Ф4102/1 с дополнительными блоками, расширяющими его функциональные возможности позволяет более точно и эффективно проводить диагностические процедуры.



Использование в составе прибора интегральных микросхем дает возможность его подключения к микропроцессорным устройствам для автоматизации процесса диагностики изоляции [2, 3]. Таким образом, использование напряжения саморазряда и возвратного напряжения в сочетании с современными измерительными приборами дает возможность более детально и объективно оценивать состояние изоляции обмоток ТЭД, что важно для повышения надежности, предотвращения аварий и снижения затрат на техническое обслуживание.

При анализе данных [4, 5] о механизме разрушения витковой изоляции ТЭД установлено, что основная причина электрического пробоя изоляции связана с термическими и термоокислительными процессами, которые ведут к образованию трещин в материале изоляции и вызывают резкое снижение электрического сопротивления изоляционного материала, что существенно ухудшает его защитные свойства.

Метод ИК-спектрофотометрии представляет собой современный подход к оценке состояния изоляции, позволяет определять относительный коэффициент пропускания электромагнитного излучения в газовой атмосфере, что является индикатором сокращения ресурса изоляции.

Создание и внедрение бортовой системы автоматизированного мониторинга на основе данного метода значительно увеличивает надежность работы электродвигателей, так как позволяет в режиме реального времени отслеживать уровень износа изоляции, обнаруживать начало ее деградации и оперативно принимать решения на основе получаемых данных, тем самым снижая риск неожиданного выхода из строя электродвигателей и минимизируя затраты на их обслуживание.

Оценка остаточного ресурса изоляции на основе полученных данных помогает осуществлять реальный контроль состояния изоляции, что может способствовать предотвращению аварийных ситуаций. В ИК-спектре выделяются простые и сложные эфиры, кислоты, альдегиды, ацетилены, наличие которых означает начало разрушения полимерной изоляции, а их отсутствие – ее полное разрушение. Загрязнения от разложения нефтепродуктов ТЭД способствуют интенсивному выходу из строя используемых электрохимических датчиков. Поэтому для исследования состояния изоляционных материалов обмоток ТЭД необходимо применять специализированный инфракрасный ИК-интерферометр, который анализируя ИК-спектр летучих веществ, выделяющихся при термическом и термоокислительном разрушении изоляции обмоток тяговых электродвигателей позволяет выделить характеристики газового выброса, показывающие влияние загрязнений на работу датчиков и степень износа самой изоляции.



В результате анализа образцов изоляционного материала определена интенсивность поглощения загрязнений и установлено, что широкая многокомпонентная полоса поглощения газовой атмосферы оказывается наиболее информативной и наиболее устойчивой к загрязнениям. Это свидетельствует о том, что данные диапазоны частот ИК-излучения могут быть надежным индикатором состояния изоляции. При неисправности изоляции данная полоса отсутствует.

В образце с предпробойной или загрязненной изоляцией полоса поглощения газовой атмосферы имеет различную интенсивность правой и левой компонент, по которой можно определить, что двигатель еще находится в рабочем состоянии.

Таким образом, внедрение высокоточного метода ИК-спектрофотометрии для диагностики и автоматизации процесса мониторинга состояния изоляции может существенно снизить риски, связанные с выходом из строя ТЭД. Полученные результаты могут быть использованы для разработки методов мониторинга состояния изоляции обмоток ТЭД в реальных условиях эксплуатации и служить основой для дальнейшего анализа воздействия других видов загрязнений на состояние изоляционных материалов и самих датчиков, что позволит уменьшить вероятность выхода из строя оборудования и повысить его надежность [6].

Современные методы и передовые технологии технической диагностики, правильная организация диагностических работ позволяет значительно сократить вероятность аварийных отказов изоляции обмоток тяговых электродвигателей, что, в свою очередь, ведет к уменьшению прямых затрат на эксплуатацию локомотивов и их ремонт.

Внедрение современных диагностических систем позволяет выявлять потенциальные проблемы на ранних стадиях, что способствует их своевременной коррекции без необходимости остановки работы локомотива. Одним из главных преимуществ внедрения новых систем диагностики состояния изоляции обмоток ТЭД является возможность перехода от планово-предупредительной системы ремонта к более прогрессивной системе, основанной на фактическом состоянии локомотива.

Принятие решений на основе фактических данных способствует более эффективному распределению ресурсов и повышению общей производительности ремонтных служб. Такой подход позволит значительно, повысить надежность тягового подвижного состава, оптимизировать процессы диагностики, что поможет предотвратить аварийные ситуации и повысить уровень безопасности на железной дороге.

*Библиографический список*

1. Бобровников, Я. Ю. Диагностические комплексы электроподвижного состава : учебное пособие / Я. Ю. Бобровников, А. Е. Стецюк. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2012. – 94 с. – Текст : непосредственный.
2. Коньков, А. Ю. Основы технической диагностики локомотивов : учебное пособие. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2007. – 98 с. – Текст : непосредственный.
3. Криворудченко, В. Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта : учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / В. Ф. Криворудченко, Р. А. Ахмеджанов ; под редакцией В. Ф. Криворудченко. – Москва : Маршрут, 2005. – 433 с. – Текст : непосредственный.
4. Андреев, Г. А. Температурная зависимость электрической прочности ионных кристаллов при тепловом и электрическом пробое / Г. А. Андреев, А. А. Воробьев, В. Д. Кучин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Физика. – 2007. – № 1. – С. 128–140.
5. Кучин, В. Д. Зависимость электрической прочности ионных кристаллов от температуры при электронной форме пробоя / В. Д. Кучин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Физика. – 2008. – № 2. – С. 114–120.
6. Терегулов, О. А. Новые подходы к оценке состояния изоляционного материала тяговых электродвигателей электровозов / О. А. Терегулов. – Текст : непосредственный // Мир транспорта. – 2020. – № 2. – С. 102–115.

***А. А. Свечников, Д. С. Абуняев***

*Приволжский государственный университет путей сообщения,  
г. Самара, Россия*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАПУСКА И ОСТАНОВКИ  
ДИЗЕЛЯ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА**

*В статье рассмотрены особенности климатического воздействия в восточных регионах России на локомотивы. Описывается проблема воздействия низких температур на системы маневровых тепловозов. Проведена оценка эффективности использования системы автоматического запуска и остановки дизеля САЗДТ на маневровых локомотивах*

*с точки зрения экономии топливно-энергетических ресурсов. Подобран оптимальный вариант модернизации системы САЗДТ за счёт использования искусственного интеллекта при принятии решения о запуске (или остановке) дизельной силовой установки.*

*Ключевые слова: холодный запуск, дизель, САЗДТ, тепловой баланс, водяная система, искусственный интеллект, нейросеть.*

Россия охватывает множество различных климатических регионов. В зимний период температура в некоторых северных и восточных регионах может опускаться до  $-50^{\circ}\text{C}$  и даже ниже, а в летний период времени температура может достигать до  $40^{\circ}\text{C}$ , из-за столь большого климатического разнообразия множество инфраструктур сталкивается с проблемами, в том числе и железнодорожный транспорт. [1]

Железная дорога простирается через тысячи километров от западной границы до дальневосточных рубежей, проходя через регионы с разными климатическими условиями. Примером служат северные и восточные регионы, где локомотивам приходится сталкиваться с наиболее низкими температурами.

Холод и сильные морозы оказывают сильное воздействие на критически важные системы локомотива, одной из таких систем является система охлаждения она же водяная система, которую требуется постоянно поддерживать в плюсовой температуре. Следующая важная система локомотива – топливная, дизельное топливо при отрицательной температуре начинает менять свои свойства. Наиболее частой причиной неплановых ремонтов в холодный период времени является трущиеся элементы двигателя внутреннего сгорания. [2–4]

Таким образом, можно сделать вывод, что решение задачи стабилизации температурных показаний при запуске локомотива в холодный период времени, является актуальным и по сей день.

Для решения данной проблемы была разработана система автоматического запуска и остановки дизеля «САЗДТ» – это система, предназначенная для автоматического управления работой дизельного двигателя с целью экономии топлива и повышения эффективности эксплуатации тепловозов. Основная задача САЗДТ – автоматически запускать и останавливать дизель в зависимости от текущих условий эксплуатации, тем самым снижая расход топлива, уменьшая износ двигателя и сокращая вредные выбросы в атмосферу. [5–6]

Был произведён анализ работы локомотивов с системой САЗД и без неё (Таблица). Данные статистики были взяты с одной из железных дорог Российской Федерации.

**РАЗДЕЛ 1. Подвижной состав железных дорог  
(электровозы, тепловозы и вагоны)**

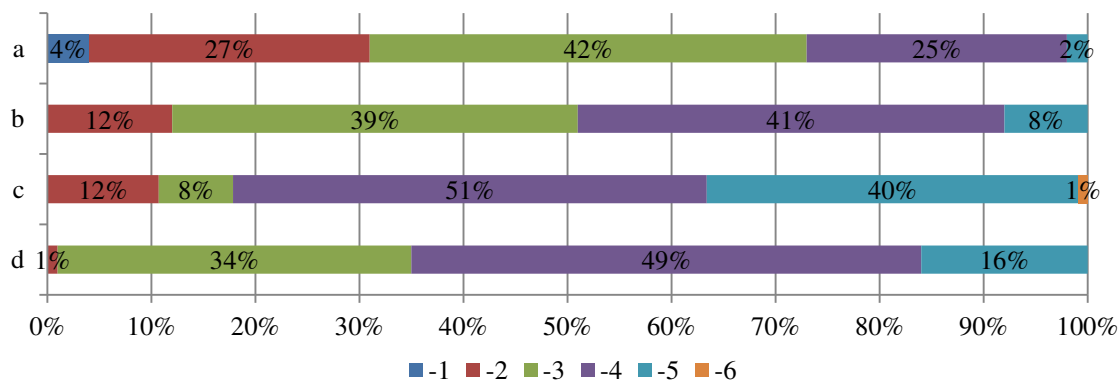


**Рис. 1.** Процентное соотношение времени работы тепловозов в разных климатических условиях: а – Забайкальская железная дорога; б – Восточно-Сибирская железная дорога; в – Северо-Кавказская железная дорога; г – Приволжская железная дорога; 1 – ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ ; 2 – от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ ; 3 – от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ ; 4 – от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ ; 5 – от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ; 6 – выше  $+40^{\circ}\text{C}$

Таблица

**Анализ статистики работы САЗДТ**

| Серия локомотива                                        | ТЭМ18ДМ |        |        |        |        |         |
|---------------------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Депо                                                    | 1       | 1      | 2      | 2      | 1      | 1       |
| Наличие САЗДТ                                           | да      | да     | да     | да     | нет    | нет     |
| Время работы тепловозов, ч (по данным SAS портал)       | 743,07  | 732,65 | 715,12 | 395,25 | 723,77 | 733,45  |
| Расход тепловозов, кг (по данным SAS портал)            | 5936,45 | 5088,1 | 5974   | 2860   | 8447   | 7811,78 |
| Часовой расход топлива, кг/ч                            | 7,98    | 6,94   | 8,35   | 7,24   | 11,67  | 10,650  |
| Время работы САЗДТ, ч                                   | 35,27   | 4,71   | 32,53  | 0,07   | -      | -       |
| Продолжительность остановки дизеля без участия САЗДТ, ч | 205     | 126    | 32,53  | 1      | 4      | 236     |
| Фактическая экономия САЗДТ при простое, кг              | 252,4   | 27,2   | 663,43 | 0,1    | 136,2  | 236     |
| Часовая экономия САЗДТ при простое, кг/ч                | 7,16    | 5,77   | 20,39  | 1,42   | 0      | 0       |
| Фактическая экономия САЗДТ, %                           | 4,08    | 0,53   | 10     | 0      | 1,59   | 1,08    |
| Потенциал экономии САЗДТ, %                             | 22      | 15,34  | 22,65  | 7,05   | 1,7    | 6,37    |

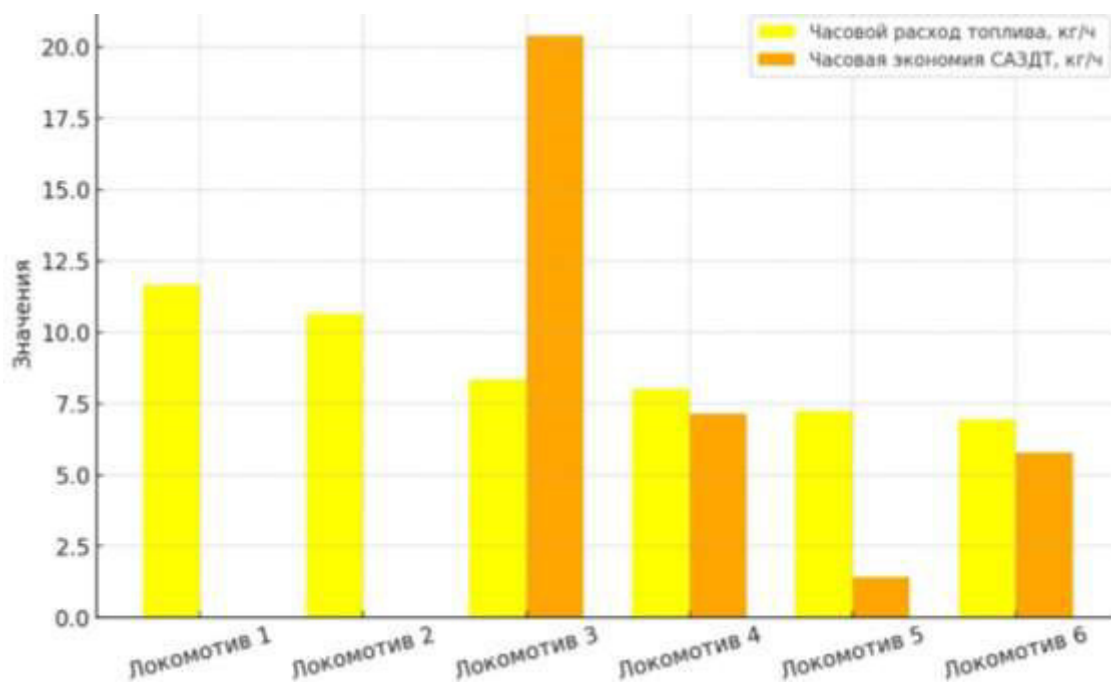


**Рис. 2.** Гистограмма часового расхода топлива для различных локомотивов серии ТЭМ18ДМ

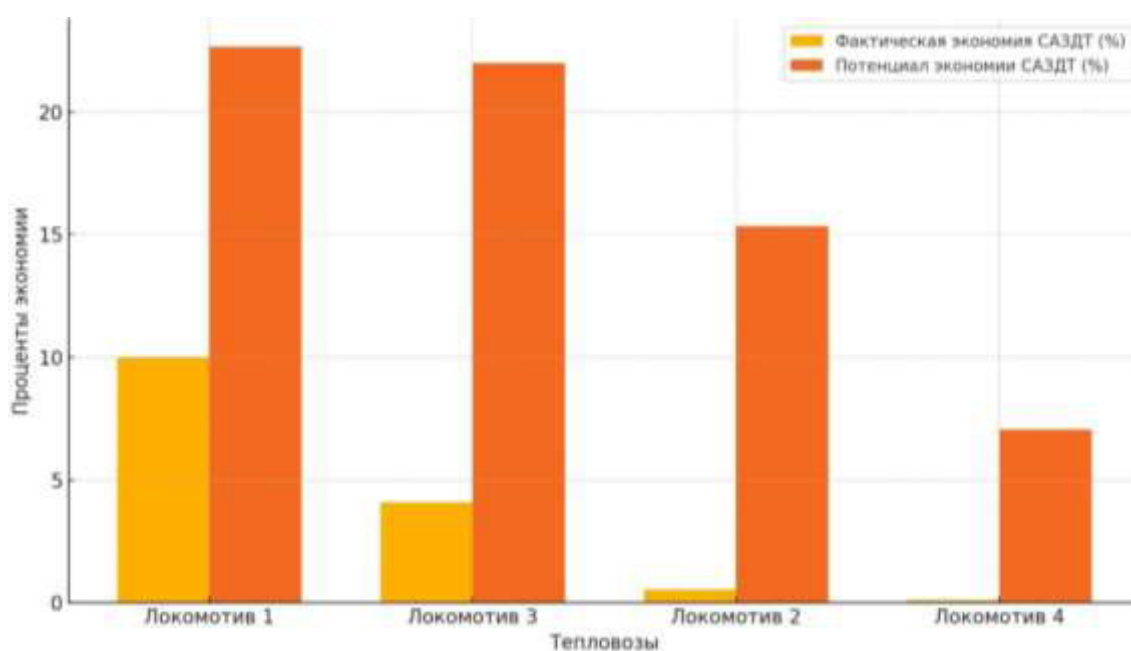


**Рис. 3.** Гистограмма распределения фактической и потенциальной экономии САЗДТ

Из приведенных гистограмм можно увидеть, что локомотивы с установленной системой САЗДТ действительно показывают значительную экономию топлива при простое.

Основной проблемой САЗДТ является внешнее воздействие, а именно погодные условия. САЗДТ состоит из множества компонентов таких как: датчики, контроллеры и исполнительные механизмы, поэтому система настроена с запасом по температуре и энергоемкости аккумулятора. Ещё одной немаловажной проблемой является замер температуры охлаждающей жидкости, который осуществляется на выходе из дизеля, пренебрегая тот фактор, что диаметр труб водяной системы разный и интенсивность охлаждения в разных элементах водяной системы тоже разная. [7]

Для решения данной проблемы предлагается использовать вычислительную систему, основанную на математическом анализе. Наиболее перспективной является система искусственного интеллекта, которая позволит учитывать внешние факторы, строить закономерность и рассчитывать наиболее выгодный сюжет для запуска и остановки дизеля.

Таким образом, система автоматического запуска и остановки дизеля позволит больше экономить топлива и регулировать запас аккумуляторной батареи.

#### *Библиографический список*

1. Белоглазов, А. К. Влияние температуры окружающей среды на работу системы охлаждения тепловоза и его агрегатов / А. К. Белоглазов, В. О. Носков, А. В. Чулков. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2015. – № 4(24). – С. 11–17.

2. Анисимов, А. С. Экспериментальные исследования режимов охлаждения и прогрева водяной системы тепловоза / А. С. Анисимов, Н. А. Белоглазова, В. О. Носков. – Текст : непосредственный // Эксплуатационная надёжность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы Пятой всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 75-летию победы в Великой Отечественной войне, 85-летию кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог», 120-летию основания Омского государственного университета путей сообщения, Омск, 12 ноября 2020 года. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения. – 2020. – С. 28–35.

3. Балабин, В. Н. О повышении эффективности прогрева двигателей тепловозов / В. Н. Балабин. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 11. – С. 31–35.

4. Овчаренко, С. М. Перспективы развития технологий прогрева тепловозов в зимний период / С. М. Овчаренко, И. С. Ринг. – Текст : непосредственный // Инновационные проекты и технологии в образова-



нии, промышленности и на транспорте : материалы научной конференции, посвященной Дню Российской науки, Омск, 08 февраля 2021 года / Министерство транспорта Российской Федерации, Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Омский государственный университет путей сообщения. – Омск : Омский государственный университет путей сообщения, 2021. – С. 77–82.

5. Абрамов, О. В. Система автоматического запуска и остановки дизеля для тепловозов / О. В. Абрамов, А. А. Кащенко. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2017. – № 2 (722). – С. 34–35.

6. Харькин, А. С. Экономический эффект внедрения САЗДТ на маневровом локомотиве / А. С. Харькин. – Текст : непосредственный // Труды 81-й студенческой научно-практической конференции РГУПС, Воронеж, 28–29 апреля 2022 года / Ростовский государственный университет путей сообщения, филиал в г. Воронеж. Часть 4. – Воронеж : филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж, 2022. – С. 50–55.

7. Свечников, А. А. Исследование интенсивности падения температур рабочих жидкостей дизеля маневрового тепловоза / А. А. Свечников, И. В. Метальников. – Текст : непосредственный // Транспортная наука и инновации : материалы Международной научно-практической конференции, Самара, 01–02 июня 2023 года. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 62–65.

**А. А. Свечников, Д. Д. Попов**

*Приволжский государственный университет путей сообщения,  
г. Самара, Россия*

### **КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВА С ТОПЛИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

*В данной научной публикации разработана схема компоновки электрохимической энергоустановки на основе топливных элементов, использующих водород в качестве топлива, на борту маневрового тепловоза серии ТЭМ18ДМ. Произведен расчёт необходимого количества топливных элементов для данного маневрового локомотива. Подобран оптимальный вариант силовой установки на топливных элементах с точки зрения габаритов и мощности, представлены её технические характеристики. Подробно описан предполагаемый принцип работы маневрового локомотива на водородных топливных элементах.*

*Ключевые слова: электрохимический генератор, энергоустановка, топливные элементы, водородное топливо, альтернативное топливо, расположение оборудования на локомотиве.*

Злободневность разработки локомотива с энергетической системой на базе топливных элементов вызвана несколькими факторами: отсутствием необходимости в масштабном расширении контактных сетей, экологической чистотой, высокой энергоэффективностью, снижением уровня шума и вибрации, превосходными эксплуатационными характеристиками и надежностью, а также низкими расходами на обслуживание. [1].

Современные технологии в области энергетики стремительно развиваются, и одним из самых перспективных направлений является использование водорода в качестве топлива для локомотивов. Это связано с тем, что традиционные двигатели внутреннего сгорания, работающие на дизельном или газовом топливе, имеют низкий коэффициент полезного действия (КПД) из-за потерь энергии, которые происходят в процессе сжигания. В отличие от них, топливные элементы предлагают более эффективное решение, позволяя напрямую преобразовывать химическую энергию в электрическую.

Поскольку отсутствуют изнашиваемые движущиеся детали, происходит сокращение количества ремонтов и увеличение межремонтных периодов.

Локомотив с топливными элементами на базе ТЭМ18ДМ предполагает использование гибридной конфигурации водородных топливных элементов, аккумуляторов и тяговых электродвигателей. Источником топлива является водород. Топливные элементы преобразуют водород в электричество, которое заряжает аккумуляторы, обеспечивая стабильный источник питания для тяговых двигателей. Тормозная система поезда также заряжает аккумуляторы, которые накапливают избыток энергии для последующего использования и дополнительно способствуют повышению топливной экономичности [2].

Пример расположения оборудования такого локомотива (рис. 1).

Демонтаж дизеля 1-ПД4Д локомотива позволит заполнить большую часть освободившегося пространства топливными элементами. С учётом численных значений объёма двигателя внутреннего сгорания ( $5,328 \times 1,617 \times 2,454 = 21,142 \text{ м}^3$ ) и топливных элементов Ballard's с системой мощностью 200 кВт, FCwave™ ( $1,209 \times 0,741 \times 2,195 = 1,966 \text{ м}^3$ ), можно предположить, что для переделки маневрового локомотива потребуется пять топливных элементов, которые можно комфортно расположить в отсеке, где ранее находился дизельный двигатель. Ожидаемая

мощность автономного блока составит 1000 кВт, а масса оборудования уменьшится на 17,4 тонны. В случае необходимости изменения сцепного веса есть возможность заменить трехосные тележки на двухосные. [3].



*Рис. 1.* Расположение оборудования на ТЭМ18ДМ с топливными элементами

Возможность изменять количество топливных элементов, работающих последовательно или параллельно в таком локомотиве, дает возможность регулировать выходное напряжение без ущерба для мощности. Это обеспечивает более плавное управление скоростными показателями локомотива, сохраняя его тяговые способности.

Система FCwave™ мощностью 200 кВт, разработанная компанией Ballard, предназначена для обеспечения судов электроэнергией с нулевым уровнем выбросов. Технические характеристики приведены в Таблице [4].

Проведенное исследование сравнивало четыре типа поездов, преодолевающих расстояние в 100 километров и совершающих 24 рейса в день: поезд на водородных топливных элементах; электропоезд с двумя вариантами инфраструктуры: с использованием существующей контактной сети и без нее; тепловоз.

Выбор наиболее подходящей технологии для конкретного маршрута зависит от множества факторов.

Наличие или отсутствие электрифицированных участков существенно влияет на выбор между электропоездом и другими типами; для преодоления крутых подъемов может потребоваться дополнительная мощность, что сказывается на энергопотреблении и стоимости эксплуатации; для длительных маршрутов с низкой частотой движения более предпочтительны поезда на водородных топливных элементах, а для коротких маршрутов с высокой частотой движения – электропоезда.

В настоящее время наблюдается рост интереса к водородным технологиям в железнодорожном транспорте. Уже существуют пилотные

проекты в Германии и Японии, а ряд компаний объявили о планах по разработке и производству водородных поездов.

*Таблица*

**Технические характеристики**

|                                         |                            |
|-----------------------------------------|----------------------------|
| Номинальная мощность                    | 200 кВт                    |
| Минимальная мощность                    | 55 кВт                     |
| Максимальная топливная экономичность    | 53,5%                      |
| Рабочее напряжение                      | 350–720 В постоянного тока |
| Номинальный ток                         | 2×300 А, 1×500 А           |
| Мощность охлаждения системы             | макс. 65° С                |
| Тип охлаждения                          | жидкостное                 |
| Размеры (д×ш×в)                         | 1,209×0,741×2,195          |
| Вес                                     | 1000 кг                    |
| Степень защиты электрооборудования      | IP44                       |
| Температура работы в машинном отделении | +0° С - +45° С             |
| Минимальная температура запуска         | +0° С                      |
| Температура кратковременного хранения   | -40° С - +60° С            |
| Топливо                                 | газообразный водород       |
| Окислитель                              | воздух                     |
| Мониторинг                              | локальная сеть             |
| Выбросы                                 | нулевой уровень выбросов   |

Согласно результатам исследования, представленным на рис. 2, поезда на водородных топливных элементах уже сейчас являются экономически конкурентоспособными для определенных типов маршрутов. Они особенно эффективны для длительных маршрутов с низкой частотой движения. При увеличении частоты поездок в оба конца до 48 раз в день и сокращении расстояния поездки до 50 км электрические сети будут стоить дешевле, чем водородная альтернатива. Хотя региональный поезд на топливных элементах уже сейчас является привлекательной альтернативой, существуют возможности для снижения затрат и дальнейшего повышения конкурентоспособности при других вариантах эксплуатации. На сегодняшний день на водородное топливо, пожалуй, приходится половина общей стоимости владения такого поезда, однако, эта стоимость снижается по мере развития рынка водородных технологий и расширения масштабов производства водорода. Поезда на водородных топливных элементах представляют собой перспективную технологию, которая может стать одним из ключевых элементов в развитии экологически чистого транспорта. Однако для широкого внедрения водородных технологий необходимо дальнейшее развитие инфраструктуры заправки и снижение стоимости водородных топливных элементов.

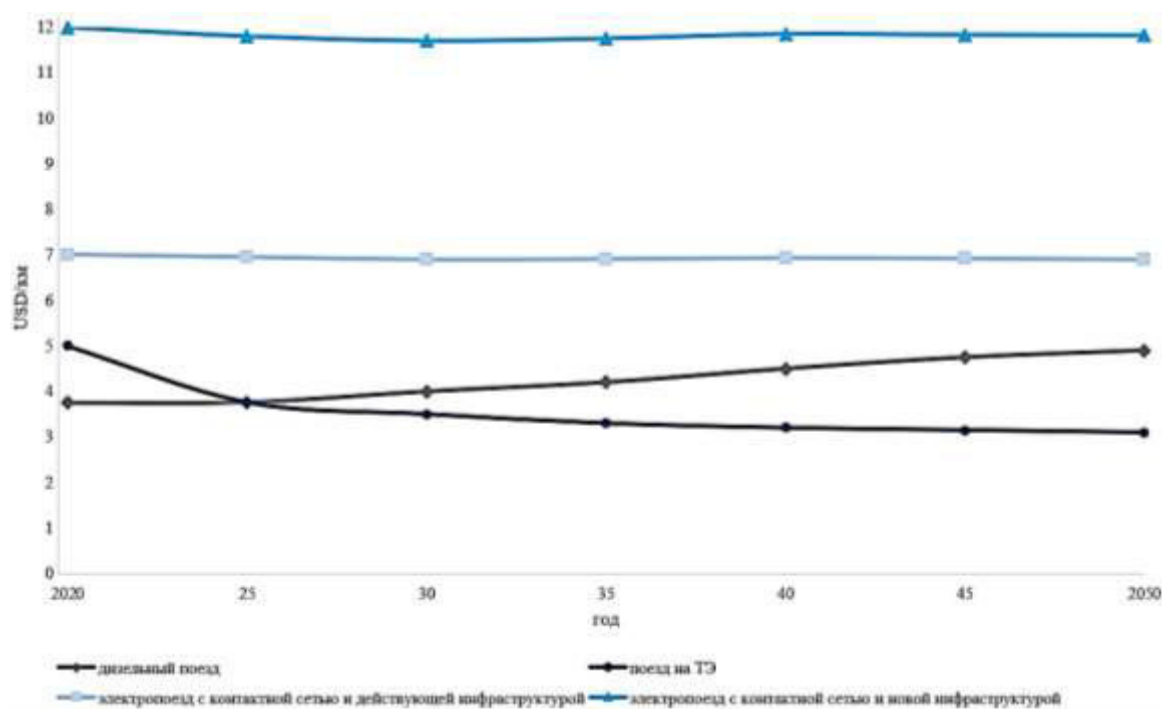


Рис. 2. Экономическая конкурентоспособность поездов

Водород – идеальное топливо будущего: экологически чистое, с высокой энергетической плотностью. Однако его хранение – сложная задача, требующая значительных энергетических затрат. Сжатие водорода до высоких давлений или его сжижение при криогенных температурах – энергоемкие процессы, снижающие общую эффективность водородной энергетики. Но что, если бы существовал способ хранить водород безопасно, эффективно и при низком давлении? Решение может скрываться в неброском химическом соединении – борогидриде натрия ( $\text{NaBH}_4$ ). Борогидрид натрия – это неорганическое соединение, представляющее собой белый кристаллический порошок. Его уникальное свойство заключается в способности обратимо адсорбировать и десорбировать водород. Представьте себе губку, впитывающую водород – это аналогия работы  $\text{NaBH}_4$ . Молекулы водорода встраиваются в кристаллическую решетку борогидрида натрия, образуя стабильное соединение. При необходимости, с помощью катализатора, водород выделяется обратно в виде молекулярного водорода ( $\text{H}_2$ ), готового к использованию в топливных элементах [5–7].

Графическая схема работы локомотива ТЭМ18ДМ на водородной установке представлена на рис. 3.



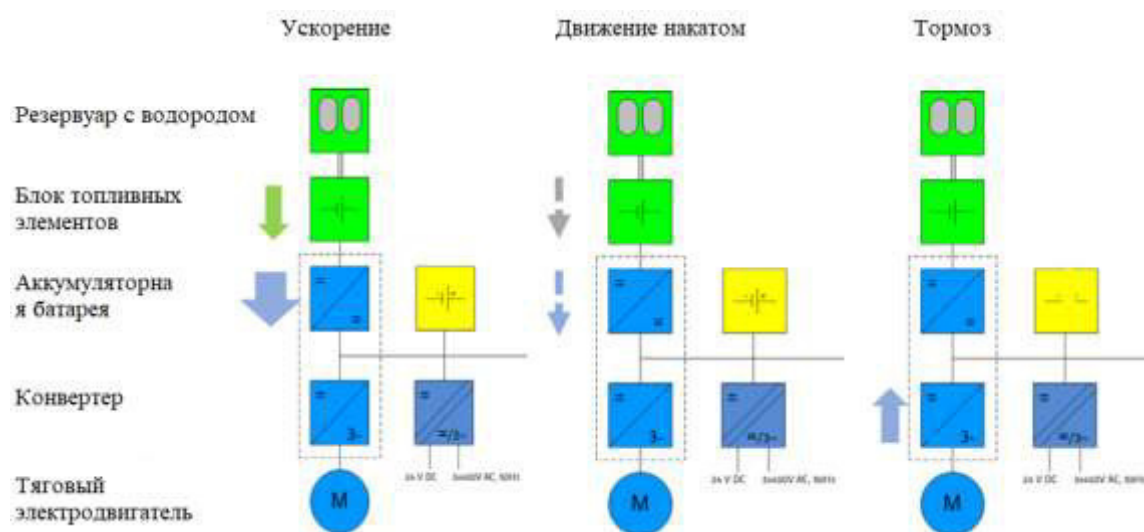


**Рис. 3.** Управление энергопотреблением на локомотиве с топливными элементами

Исходя из проведенных расчетов и исследований, стало очевидно, что маневровый локомотив может быть оснащён энергетической установкой, необходимой мощности, запасом хода и запасом водорода, использующей топливные элементы.

### *Библиографический список*

1. Шугаев, О. В. Оценка влияния водородных генераторов энергии на технико-экономические показатели работы тяговых агрегатов в условиях угольного разреза / О. В. Шугаев, Т. П. Воскресенская. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2018. – № 3 (25). – С. 58–65. – EDN VAARGU.
2. Богославский, А. Е. Водородное топливо. Перспективы применения на подвижном составе / А. Е. Богославский. – Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 6 (85). – С. 40–45. – EDN PCVCTY.
3. Руководство по эксплуатации 1-ПДГ4Д РД от 29.06.2006. – Текст : непосредственный.
4. Fuel Cell & Clean Enrgy Solutions | Ballard Power: <https://www.ballard.com/> (дата обращения 18.10.2024). – Текст : непосредственный.
5. Технологии хранения водорода. Водородные накопители энергии / А. А. Хохонов, Ф. А. Шайхатдинов, В. А. Бобровский [и др.] – Текст : непосредственный // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Том 34. – № 12 (235). – С. 47–52. – EDN YUQDCY.



6. Френкель, Е. Д. Разработка нанесенных металлических катализаторов для реакций гидрирования – дегидрирования полициклических углеводородов как основа хранения химически связанного водорода / Е. Д. Френкель, Е. А. Мартыненко, С. В. Востриков. – Текст : непосредственный // Химия и химическая технология в XXI веке : материалы XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 85-летию со дня рождения профессора А. В. Кравцова. – Томск, 15–19 мая 2023 года. – Том 1. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 344–345. – EDN QWSRDA.

7. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Е. Н. Алексин / Способы хранения и получения водорода на подводной лодке // ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» на кафедре «Теплофизических основ судовой энергетики». – 2013. – С. 21. – Текст : непосредственный.

8. Ларченко, Е. А. Цифровая трансформация производственной системы управления в локомотиворемонтном комплексе ОАО «РЖД» / Е. А. Ларченко, А. С. Дубинина, А. А. Ерёменко. – Текст : непосредственный // Российская экономика в условиях структурной трансформации : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции / под общей редакцией Д. Н. Ганченко, О. А. Цвиркун. – Москва, 2023. – С. 131–139.

**К. О. Серяков, В. А. Николаев, К. В. Аверков**  
*Омский государственный университет путей сообщения,  
г. Омск, Россия*

## **ДИНАМИЧЕСКАЯ НАГРУЖЕННОСТЬ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И МЕТОДИКА ЕЁ ИССЛЕДОВАНИЯ**

*В статье рассмотрена методика исследования напряжений, действующих на тяговый электродвигатель грузового магистрального электровоза в процессе эксплуатации. Исследование проводилось с использованием методов математического и компьютерного моделирования. В результате исследования выявлено, что концентраторами напряжений в корпусе ТЭД являются его опорные узлы, а именно места крепления поводка и моторно-осевых подшипников. Применение описан-*

ной в статье методики позволяет оценить максимальные напряжения, возникающие в материале корпуса ТЭД, в зависимости от режима работы тягового электродвигателя, скорости движения локомотива и параметров рельсового пути, а также даёт возможность выработать рекомендации по совершенствованию системы подвешивания ТЭД для снижения нагрузок на его опорные узлы.

*Ключевые слова:* экипажная часть локомотива, износ, динамика подвижного состава, тяговый электродвигатель, динамические нагрузки, напряжённое состояние узлов машин, надёжность.

В процессе движения локомотива динамические силы воздействуют на тяговый электродвигатель и элементы его подвески со стороны колёсной пары. Основные причины возникновения динамических сил включают неравномерную упругость рельсового пути, геометрические неровности поверхностей катания рельсов, стыки рельсовых соединений, неравномерный износ колёс и разницу в диаметрах бандажей. Нагрузки на опорные узлы ТЭД также зависят от перемещения подвижного состава по кривым участкам пути и стрелочным переводам, что увеличивает рамную силу и создаёт дополнительные моменты, действующие на поводок и узлы крепления подшипников.

Прохождение локомотивом рельсовых стыков вызывает наибольшие напряжения в опорных узлах тягового электродвигателя, что снижает запас циклической прочности материала. Циклический характер изменения напряжений при движении по стыковым рельсовым путям усугубляет ситуацию. Высокие циклические нагрузки, связанные с движением локомотива в кривых и преодолением геометрических неровностей пути, могут привести к образованию трещин в корпусах моторно-осевых подшипников и обрыву поводка подвешивания тягового электродвигателя.

Сегодня одной из наиболее важных проблем, связанных с неисправностями узлов механической части магистральных электровозов, является появление трещин в опорных точках тяговых электродвигателей, таких как крепёжные бобышки и корпуса моторно-осевых подшипников. Эта проблема становится всё более актуальной, так как она приводит к серьёзным последствиям для безопасности и надёжности работы локомотивов.

В течение срока службы электровозов серии 2ЭС6 эксплуатируемого парка Западно-Сибирской дирекции тяги, были проведены работы по устранению трещин в корпусах моторно-осевых подшипников 4687 колёсных пар. За период с января по сентябрь 2019 года на приписном парке Западно-Сибирской дирекции тяги было зафикси-



где  $R_{\Pi}$  – усилие, действующее на поводок подвески ТЭД;  $R_{оп}$  – реакция опоры на МОП;  $P_{дв}$  – вес ТЭД;  $l_1$  – плечо от точки подвески ТЭД к раме тележки до оси вращения якоря;  $l_2$  – плечо от оси вращения якоря электродвигателя до оси колесной пары.

Из уравнения (1) получаем:

$$R_{\Pi} = \frac{P_{дв} l_2}{l_1 + l_2}; \quad (2)$$

$$R_{оп} = \frac{P_{дв} l_1}{l_1 + l_2}. \quad (3)$$

Центробежная сила, действующая на экипажную часть локомотива во время движения по кривому участку пути, определяется по следующему выражению:

$$\Phi = \frac{m_T V_{л}^2}{r_{кр}}, \quad (4)$$

где  $m_T$  – масса тележки;  $V_{л}$  – скорость локомотива;  $r_{кр}$  – радиус кривой.

Момент, действующий на узел крепления поводка к корпусу тягового электродвигателя, определяется по выражению:

$$M_x = \Phi k_{\delta} l_n, \quad (5)$$

где  $k_{\delta}$  – коэффициент динамики;  $l_n$  – длина поводка подвешивания ТЭД.

В процессе движения локомотива по рельсовому полотну колесные пары своими гребнями набегают на боковые грани головок рельсов. В месте соприкосновения колеса с рельсом образуется нормальная сила реакции  $N$  (рис. 2).

Вертикальная составляющая  $B$  силы реакции стремится поднять колесо вверх по боковой поверхности рельса, в то время как горизонтальная составляющая  $Y_H$  (направляющая сила) обеспечивает движение экипажа

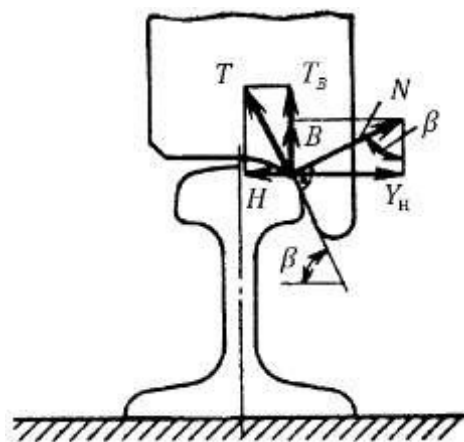


**Рис. 2.** Силы, действующие в точке контакта колеса и рельса

в рельсовой колее, при этом:

$$N = \frac{1}{\sin \beta} Y_H, \quad B = \operatorname{ctg} \beta Y_H, \quad (6)$$

где  $\beta$  – угол наклона образующей гребня бандажа.

Сила  $P_L$  (рис. 2) заставляет левое колесо перемещаться вниз, однако сила трения  $T = \mu_{mp} N$  препятствует этому перемещению, где  $\mu_{mp}$  – коэффициент трения скольжения.

Составляющие силы трения:

$$T_B = T \sin \beta = \mu_{mp} Y_H; \quad (7)$$

$$H = T \cos \beta = \mu_{mp} \operatorname{ctg} \beta Y_H. \quad (8)$$

Также, на колесную пару дополнительно воздействует рамная сила  $Y_P$ , которая является реакцией рамы. Боковая сила  $Y_B$  возникает при горизонтальном взаимодействии колеса с рельсом (см. рис. 2). Во время движения по криволинейному участку пути левое колесо набегает на рельс, что приводит к возникновению боковой силы:

$$Y_P = Y_H - 2H; \quad Y_B = Y_H - H; \quad Y_P = Y_B - H. \quad (9)$$

Для анализа распределения напряжений в корпусе тягового электродвигателя (ТЭД) ЭДП810 была разработана его геометрическая модель (рис. 3).

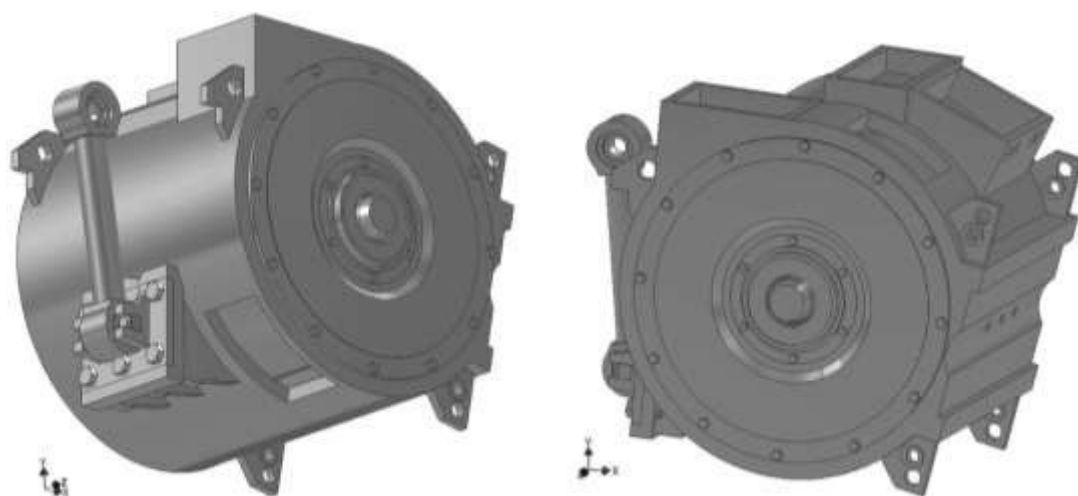


Рис. 3. Геометрическая модель тягового электродвигателя ЭДП810

В результате исследования напряженного состояния корпуса тягового электродвигателя ЭДП810 с учетом рассмотренных выше динамических нагрузок установлена картина распределения напряжений в материале корпуса ТЭД (рис. 4).

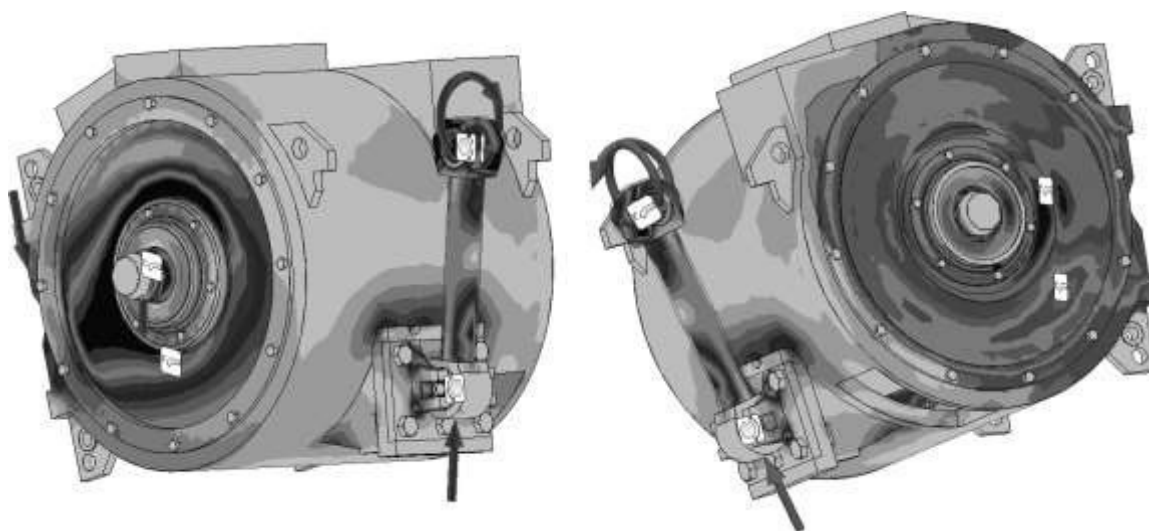


**Рис. 4.** Распределение напряжений в корпусе ТЭД ЭДП810

В результате исследования напряженного состояния корпуса тягового электродвигателя ЭДП810 получена картина распределения напряжений в материале корпуса ТЭД (рис. 4). Наиболее темные участки на рисунке соответствуют максимальным нагрузкам и наглядно свидетельствуют, что концентраторами напряжений в корпусе тягового электродвигателя являются его опорные узлы, а именно места крепления поводка и моторно-осевых подшипников. Результаты моделирования подтверждают статистические данные отказов тяговых электродвигателей из-за образования трещин в корпусе [1, 6].

Использование предложенной методики позволяет определить максимальные напряжения в корпусе ТЭД с учётом различных режимов работы тягового двигателя, скорости движения локомотива и характеристик рельсового пути. Это также даёт возможность разработать рекомендации по улучшению системы подвески ТЭД для снижения нагрузки на опорные узлы.

#### *Библиографический список*

1. Николаев, В. А. Проблема прочности узлов опирания тяговых электродвигателей электровоза 2ЭС6 / В. А. Николаев, В. А. Нехаев, К. О. Серяков. – Текст : непосредственный // VIII международная конфе-



рения проблемы механики современных машин : сборник статей конференции / Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – Улан-Удэ, 2022. – С. 548–553. – Текст : непосредственный.

2. Волков, А. Н. Устройство и ремонт электровоза 2ЭС6 «Синара» / А. Н. Волков. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. – 680 с. – Текст : непосредственный.

3. Буханцев, А. А. Исследование вибронагруженности непродессоренной массы тягового электродвигателя подвижного состава в эксплуатации / А. А. Буханцев, В. В. Жавыркин, К. В. Колесников. – Текст : непосредственный // Эксплуатационная надёжность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов : материалы VI всероссийская научно-техническая конференция с международным участием / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2021. – С. 5–12.

4. Бирюков, И. В. Механическая часть подвижного состава : учебник для вузов / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак [и др.] ; под общей редакцией И. В. Бирюкова. – Москва : Транспорт, 1992. – 440 с. – Текст : непосредственный.

5. Шантаренко, С. Г. Математическое моделирование напряженного состояния поводка подвески тягового электродвигателя электровоза 2ЭС6 / С. Г. Шантаренко, В. Ф. Кузнецов, О. Д. Юрасов. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 2(58). – С. 46–51.

6. Ахмадеев, С. Б. Анализ повреждений механической части электровозов нового поколения в эксплуатации (на примере 2ЭС6) / С. Б. Ахмадеев, А. М. Корнев. – Текст : непосредственный // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. В 3-х частях / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск, 2015. – Часть 1. – С. 203–208.

**В. В. Степанов, С. З. Овсейчик**

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

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБНАРУЖЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В ЛИТЫХ ДЕТАЛЯХ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В статье приведено обоснование концепции разработки устройства автоматического обнаружения усталостных трещин в литых деталях подвижного состава бесконтактным способом на основе анализа свободных затухающих колебаний в акустическом диапазоне.*

*Ключевые слова: боковая рама, литая деталь, акустические колебания, амплитуда, частота, логарифмический декремент затухания, мониторинг.*

Проблема своевременного гарантированного обнаружения усталостных трещин в литых деталях подвижного состава обостряется тем, что качество осмотра зависит от множества объективных и субъективных факторов, в число которых входят квалификация осмотрщика, лимит времени на осмотр по техпроцессу, увеличение массы и длины поездов, загрязненность поверхности рам и т.д. В связи с этим существует настоятельная необходимость применения методов, позволяющих объективно фиксировать момент достижения критического размера усталостных трещин инструментальными контрольно-измерительными комплексами. При этом разрабатываемые контрольно-измерительные комплексы должны обладать мобильностью и позволять выявлять усталостные трещины в боковых рамах без отцепки вагонов.

Исследования механизма зарождения и развития усталостных трещин показывают, что на начальном этапе усталостные трещины имеют крайне малые размеры и их обнаружение методом визуального осмотра представляется крайне затруднительной задачей. При этом следует иметь в виду, что по достижении критического размера усталостные трещины развиваются стремительно, что может привести к разрушению в процессе движения.

Для решения поставленной задачи, при определении перспективного физического метода скрытых дефектов литых деталей тележек грузовых вагонов, был выдвинут акустический метод неразрушающего контроля. В результате проведенных экспериментов на кафедре «Подвижной состав железных дорог» ЗаБИЖТ было установлено, что обнаруже-

ние усталостных трещин в литых деталях возможно на основе анализа свободных затухающих колебаний, вызванных единичным ударным воздействием. При этом было установлено, что затухание свободных колебаний находится в зависимости от величины усталостных трещин, которые рассматриваются препятствием для их распространения. Кроме этого было установлено, что частота акустических колебаний находится в слышимой части звукового диапазона и может быть зарегистрирована звуковыми датчиками микрофонного типа [1].

В результате проведенных исследований свободных затухающих акустических колебаний боковой рамы тележки 18-100 грузового вагона так же было установлено, что спектр колебаний имеет явно выраженную особенность, представляющую собой наличие двух пиков. Проведенные эксперименты и обработка результатов измерений с использованием пакета MatLab показали, что осциллограмма затухающих колебаний и амплитудно-частотная характеристика имеют ярко выраженные особенности. На рис.1 представлена осциллограмма затухающих колебаний в боковой раме.

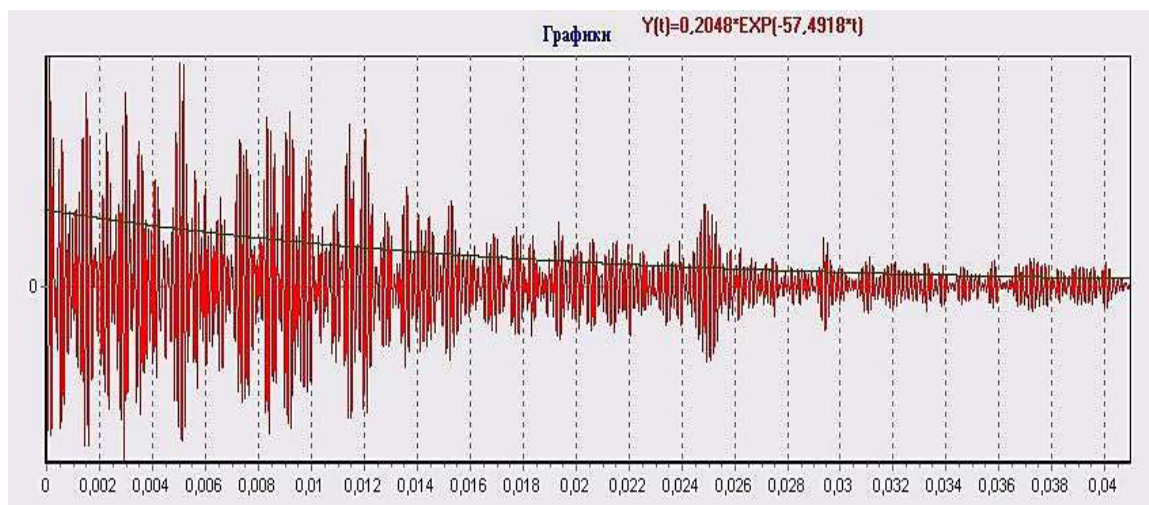


**Рис. 1.** Осциллограмма акустических затухающих колебаний в боковой раме тележки 18-100

Исходная осциллограмма подвергалась разложению в ряд Фурье с помощью БПФ (быстрого преобразования Фурье) (рис. 2).

На рис. 3 приведен результат обработки в виде амплитудно-частотной характеристики с использованием метода "Music" сглаживания исходного спектра БПФ.

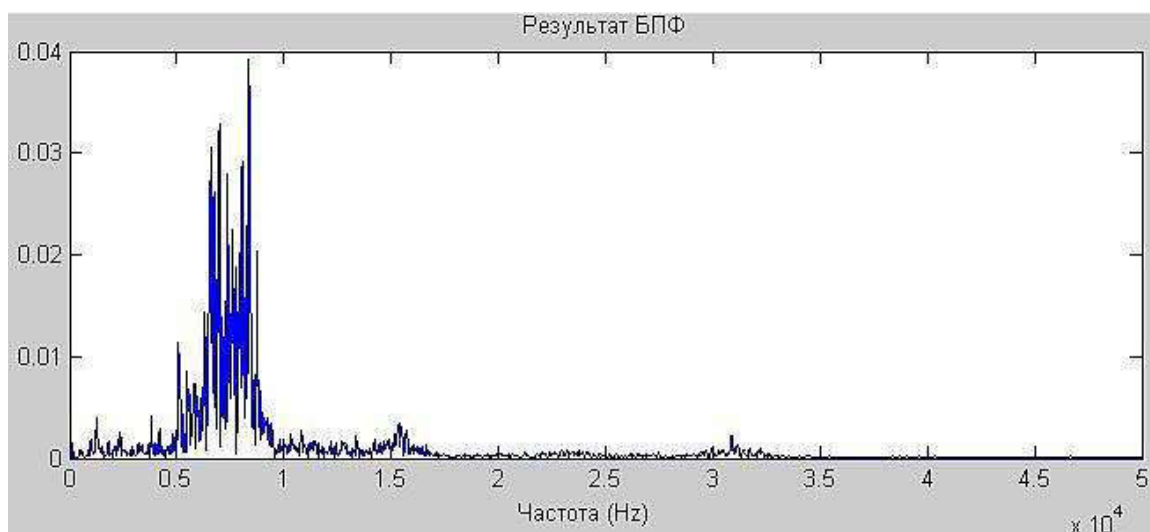


**Рис. 2.** Результаты БПФ исходного сигнала

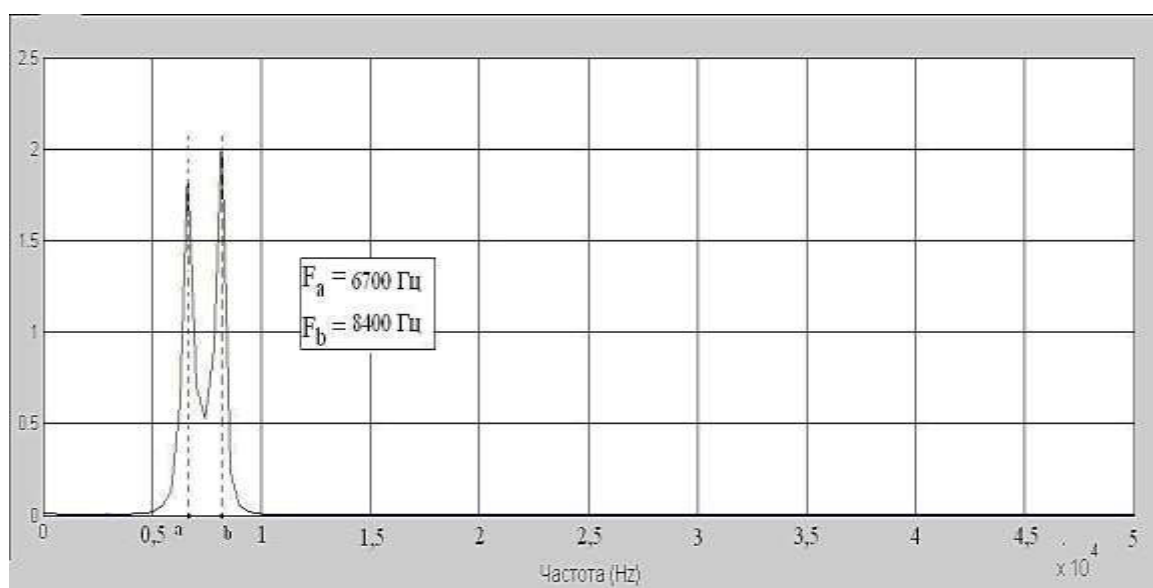


**Рис. 3.** Амплитудно-частотная характеристика акустических колебаний

Таким образом, наличие явно выраженных акустических критериальных признаков существования усталостной трещины в литых деталях позволяет решить вопрос обнаружения трещин в процессе движения вагона при прохождении стыков рельсового пути. При прохождении стыков литые детали получают необходимое единичное импульсное воздействие, вызывающее акустические колебания в слышимой части звукового диапазона, индивидуальные для каждой детали и зависящие от импеданса колебательной системы: масса, жесткость и частота собственных колебаний. Затухание акустических колебаний в детали происходит

за определенный интервал времени, зависящий от наличия и размера трещин и определяемый логарифмическим декрементом затухания

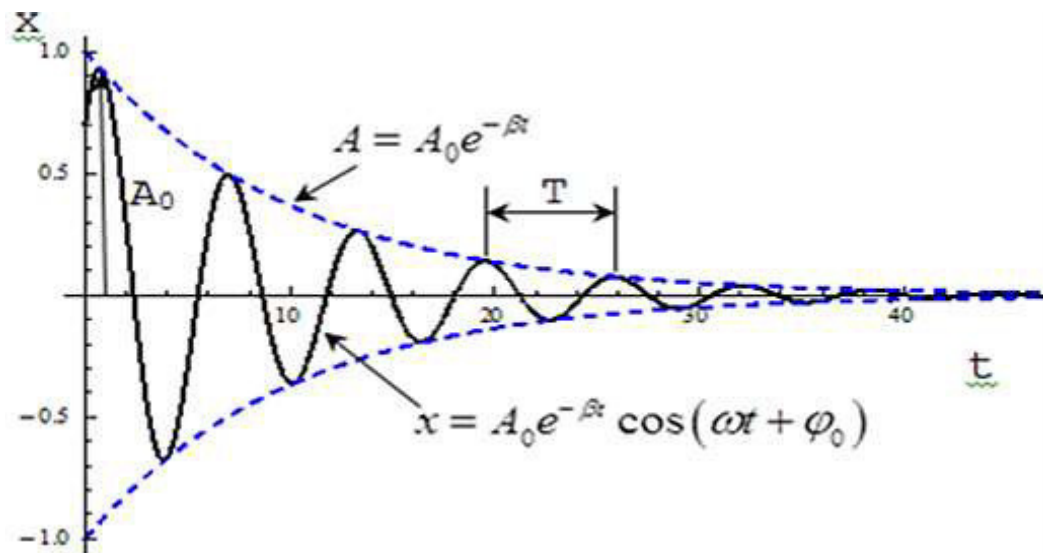


**Рис. 4.** Осциллограмма затухающих акустических колебаний  
( $\omega$  – частота затухающих колебаний;  $\beta$  – коэффициент затухания)

Наиболее удобным для анализа затухающих колебаний будет логарифмический декремент затухания  $\lambda$ , определяемый по формуле (1):

$$\lambda = \ln D = \beta T = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}, \quad (1)$$

Физический смысл логарифмического декремента затухания заключается в том, что его величина обратно пропорциональна числу колебаний, в результате которых амплитуда колебаний уменьшилась в  $e$  раз. Таким образом, наличие трещин в детали будет определяться сравнением измеренного декремента с эталонным.

Регистрация и дальнейшая обработка звуковых колебаний возможна с использованием аппаратных средств, разработанных на кафедре «Подвижной состав железных дорог» ЗаБИЖТ [2]. Предлагаемые аппаратные средства предполагается установить на подходе к ПТО. В результате полученных данных осмотрщики будут иметь возможность адресного обследования вагонов с выявленными дефектами, что позволит существенно сократить время на осмотр поезда при условии 100 % мониторинга состояния литых деталей подвижного состава. Кроме этого, появляется возможность мониторинга состояния литых деталей вагонных тележек путем формирования баз данных.

В связи с предполагаемым изменением концептуального подхода к выявлению усталостных трещин в литых деталях подвижного состава подвижного состава на ПТО существует настоятельная необходимость изменения технологических процессов проведения осмотра.

*Библиографический список*

1. Степанов, В. В. Организация входного контроля литых деталей вагона с использованием метода анализа свободных затухающих колебаний / В. В. Степанов, С. З. Овсейчик. – Текст : непосредственный // В кн. «115 лет железнодорожному образованию в Забайкалье: ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО»: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 7 декабря 2017 г. – Чита : ЗаБИЖТ ИрГУПС. – С. 101–107.

2. Степанов, В. В. Определение наличия скрытых дефектов в литых деталях подвижного состава акустическим методом / В. В. Степанов, С. З. Овсейчик. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура сибирского региона. – Том 2. – 2018. – Иркутск : ИрГУПС. – С. 342–345.

**Тогтох Сумъяабазар, В. В. Тюньков**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

**РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ БУКСОВЫХ УЗЛОВ  
КОЛЁСНЫХ ПАР ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

*При статистическом анализе отказов узлов и деталей грузовых вагонов, который является основой оценки их технического ресурса, проявляются исходные данные для определения объёма как планового, так и отцепочного вида ремонта. Для нормативного эксплуатационного процесса, включая действующую систему ТО и ТР, объединяющим индикатором может служить параметр ремонтпригодности, т.е. одной из главных составляющих технического и технологического ресурса сборочного узла, его деталей и вагона в целом. В связи с этим, целью исследования является сопоставление вариантов конструктивного решения с ядром композиции на основе роликовых (цилиндрических и конических) подшипников, в сравнении с инновационным (скольжения), изготавливаемым в прецизионном варианте. Различие в ремонтпригодности (надёжности) формируется здесь, прежде всего, числом деталей в композиции, поскольку вероятность их отказа здесь для узла суммируется.*



*Ключевые слова: ремонтпригодность, мониторинг, буксовый узел, контроль, кассетные подшипники, ресурс.*

При разделении службы вагонов и вагонного хозяйства на автономные подразделения (ремонта и эксплуатации) возросла роль обеспечения нормативного уровня ситуационной надёжности сборочных узлов и деталей. Одним из основных параметров проявилась ремонтпригодность, как условие позитивного взаимодействия собственников вагонов, эксплуатационников и ремонтников. Статистический анализ отказов узлов и деталей грузовых вагонов, который является основой оценки их технического ресурса, устанавливает исходные данные для определения объёма как планового, так и отцепочного видов ремонта. Кроме того, ситуационная информация о реализованных нормированных и фактически установленных значениях на индикаторах показателей надёжности, в том числе функциональной безопасности, в данном случае буксового узла или его отдельных деталей, позволяет выбрать вариант оптимизации параметров их системы обеспечения технического обслуживания и ремонта (рис. 1). Априори можно констатировать, что базируясь на числовых значениях показателей по отдельным составным частям и сборочным узлам вагонов на основе использования аналогичной схемы, дополнительно возможен переход на техническое обслуживание и ремонт по ситуационному техническому состоянию, когда и будет обеспечиваться более эффективное использование вагонов.

Из схемы видно, что для разработки улучшенной конструкции любого сборочного узла или отдельной детали требуется факторный анализ с точки зрения потенциальной ремонтпригодности. Причём в зависимости от уровня рассмотрения (фактор отраслевой принадлежности) принимаются во внимание, прежде всего, параметры безопасности функционирования устройства, а только затем технический и технологический ресурс, в том числе долговечность.

Производитель грузового вагона как реально формирующий качество продукции, заинтересован, прежде всего, в выполнении апробированных (регламентированных) требований надёжности и безопасности для поддержания имиджа и конкурентоспособности своей компании, в том числе, сокращения издержек на устранение последствий несоответствий стандартам качества, поскольку в этом случае контракты на поставку новых вагонов уже будут включать требования их нормативной надёжности и безопасности при эксплуатации, техобслуживании и ремонте. Отметим, что до срока исчерпания технического ресурса – позитивна и развитая контролепригодность, необходимая для осуществления эффективного мониторинга.



**Рис. 1.** Блок-схема информационных связей системы обеспечения ремонтпригодности узлов и деталей грузовых вагонов при введении объективного мониторинга на основе индикаторов надёжности

По данным отчётов статистического анализа, приводимым в журнале «Вагоны и вагонное хозяйство» количество отцепок из-за неисправности буксовых узлов составило в 1 квартале 2023 года 5,8 тыс., а в 1 квартале 2024 года – 5,1 тыс. [5]. Здесь сравниваем 1-е кварталы, поскольку одна из основных закономерностей «повреждаемости буксовых узлов» – это рост в 1,5-2 раза в зимний период [1].

Поэтому помимо конструктивных особенностей необходимо учитывать и особенности эксплуатационных воздействий. Тем не менее, конструктивные решения узлов имеют преобладающее значение, что подтверждается фактом замены в буксовых узлах цилиндрических роликовых подшипников на конические (кассетные). Здесь обратим внимание на параметр надёжности – ремонтпригодность узла.

Наиболее распространёнными дефектами являются: «ослабление и разрушение торцевого крепления подшипника», который появляется в результате технологии изготовления, монтажа и ремонта; «усталостные раковины на дорожках качения наружных и внутренних колец и роликов, которые зависят, в основном от типа использованного материала; «трещины и разрывы внутренних колец», проявляемые в начальной стадии эксплуатации из-за некондиционного материала или нарушения технологического процесса изготовления; «сколы борта внутреннего

кольца», которые часто происходят по шагу расположения роликов и являются следствием усталостных трещин; «ослабления натяга посадки, часто из-за нарушения температурного режима в технологическом процессе; «неисправности торцов роликов и бортов колец», когда ими воспринимается осевая сила при возникновении пары скольжения торца ролика; «уменьшение осевого зазора» из-за разницы температур наружного кольца и роликов до 60<sup>0</sup>С.

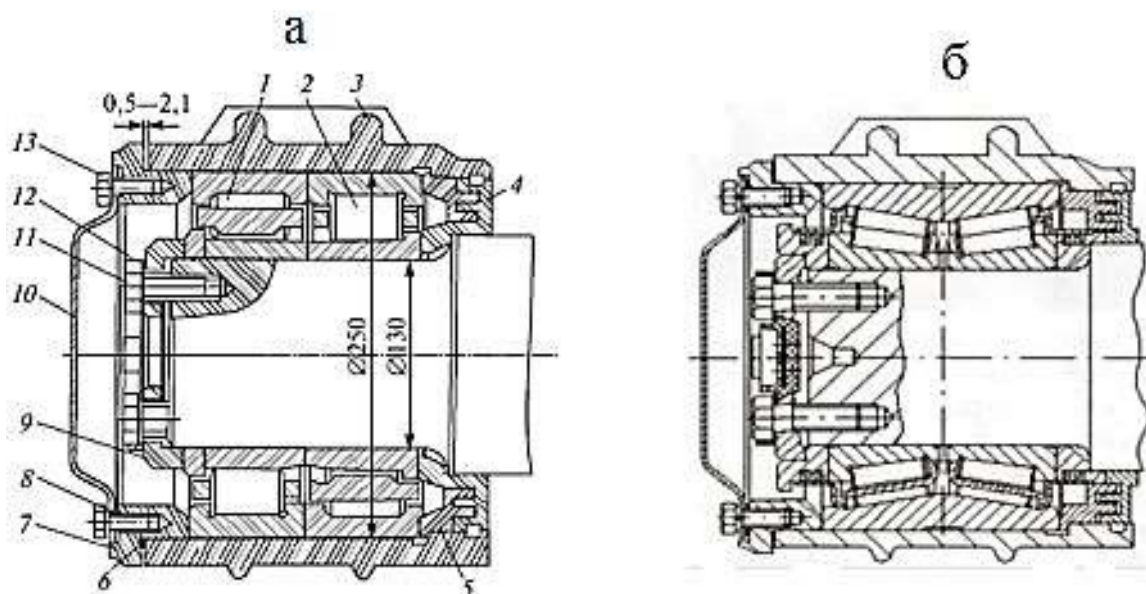


**Рис. 2.** Буксовый узел: *а* – с подшипниками роликовыми цилиндрическими; *б* – с коническими (кассетным)

**Примечание.** Детали, воспринимающие нагрузку и воздействия: 1 – корпус буксы; 2 – лабиринт отъемный; 3 – кольцо лабиринтное; 4 – подшипник; 5 – кольцо крепежное; 6 – шайба защитная; 7 – шайба тарельчатая; 8 – крышка смотровая; 9 – болт М20; 10 – болт М12; 11 – крышка крепительная.

После оперативной дефектации узла и его деталей, производится устранение выявленных дефектов и восстановление альбомных размеров. Вероятность образования дефектов зависит как от условий эксплуатации, так и конструктивных особенностей того или иного варианта функционального решения в передаче воздействий в обоих направлениях между обрессоренной и необрессоренной массами вагона. Исходя из того, что количество деталей в вариантах различно, а вероятность отказа узла – это сумма вероятностей всех деталей композиции, то более надёжным (ремонтпригодным) является более простой [6] (рис. 3).

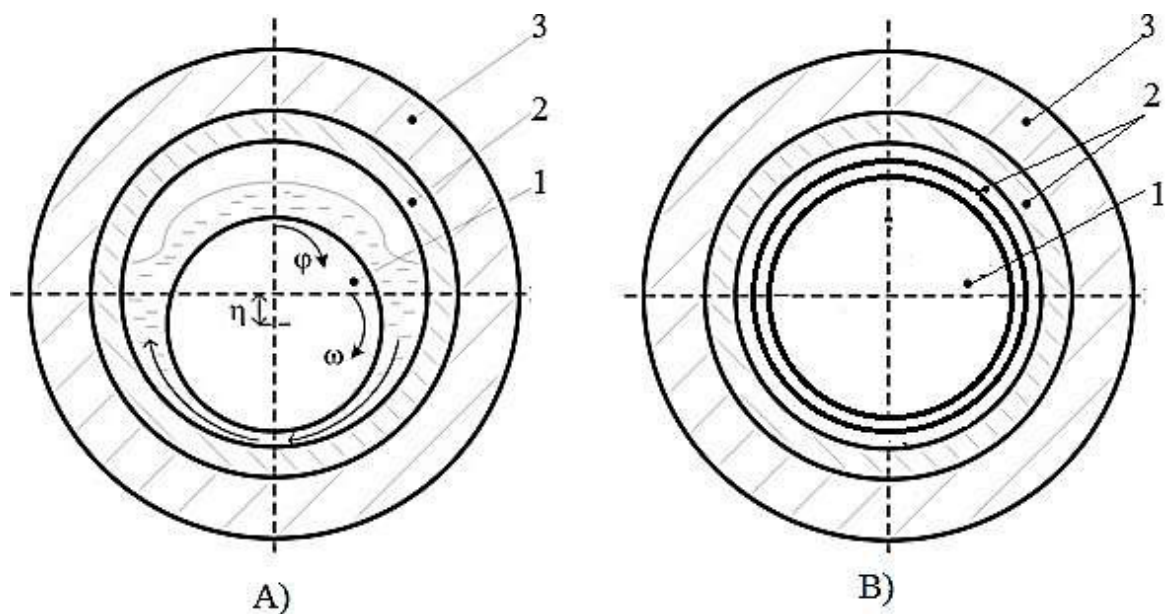


**Рис. 3.** Геометрическая схема подшипника скольжения: А) гидродинамический; В) инновационный (прецизионный), где 1 – вал, 2(А) – вкладыш, 2(В) – слой антифрикционного напыления, 3 – корпус

В связи с этим, результатом сопоставления вариантов конструктивного решения с ядром композиции на основе роликовых (цилиндрических и конических) подшипников, в сравнении с инновационным (скольжения), изготавливаемым в прецизионном варианте. Различие в ремонтпригодности (надёжности) формируется здесь, прежде всего, числом деталей в композиции, поскольку вероятность их отказа здесь для узла суммируется.

### *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. 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.

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

4. Агафонов, М. С. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт в 1 квартале 2024 г. / М. С. Агафонов. – Текст : непосредственный // Вагоны и вагонное хозяйство : журнал. – № 2 (78). – 2024.

5. 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.

6. Иванова, Т. В. Оптимизация назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации / Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин, Е. А. Ларченко. – Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2015. – № 11. – С. 60–68.

**В. С. Томилов, Т. В. Волчек**

*Красноярский институт железнодорожного транспорта,  
г. Красноярск, Россия*

## **СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОВЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА СЕРИИ ЗЭС5К ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ НОМИНАЛЬНОГО И ПОНИЖЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ**

*В статье приведено сравнение эксплуатационных характеристики электровозов серии ЗЭС5К серийного и модифицированного исполнения (с поосным регулированием) при условиях работы в номинальном и пониженном напряжении в контактной сети на примере конкретного горно-перевального участка. Представлены зависимости показателей электровоза при работе в условиях пониженного напряжения в контактной сети.*

*Ключевые слова:* электровоз переменного тока, напряжение, контактная сеть, тяговые характеристики, тяговый расчёт.

На протяжении многих лет локомотив остается основным элементом железнодорожной инфраструктуры, определяющим ее эксплуатационные показатели.

В условиях повсеместного развития силовой преобразовательной электронной техники и микропроцессорных систем управления стала возможной разработка новых видов тягового электрооборудования для электровозов переменного тока. Эти инновации обеспечивают высо-



## РАЗДЕЛ 1. Подвижной состав железных дорог (электровозы, тепловозы и вагоны)

кие технико-экономические показатели электроподвижного состава (ЭПС), автоматическое управление режимами работы и снижение эксплуатационных затрат.

Как показывают исследования, профиль пути и действительные условия эксплуатации определяют характер разгона и замедления состава, степень использования кинетической энергии поезда, режим ведения поезда, а, следовательно, расход электроэнергии на поездку [1].

При этом, зачастую, электровоз работает в условиях пониженного напряжения в контактной сети. Пониженное напряжение в контактной сети оказывает значительное влияние на работу электровоза, что может привести к снижению скорости движения поезда и увеличению времени его хода по участку. Также пониженное напряжение вызывает рост потребления электроэнергии и увеличивает риск перегрева обмоток тяговых двигателей. Особенно заметно влияние пониженного напряжения при преодолении руководящих (затяжных) подъёмов. Для сравнения эксплуатационных характеристик электровоза серии ЗЭС5К в дальнейшем будет принят профиль пути на участке Усть-Илимск – Коршуниха Восточно-Сибирской железной дороги, рис. 1.

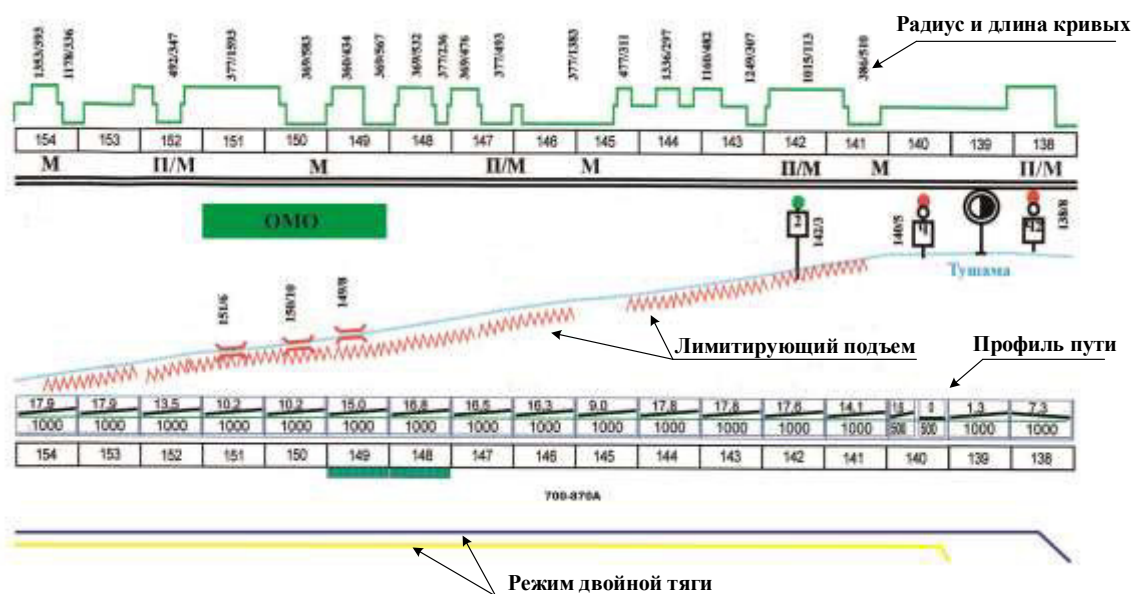


Рис. 1. Фрагмент режимной карты вождения грузовых поездов на участке Усть-Илимск – Коршуниха

Железнодорожный участок Усть-Илимск – Коршуниха располагается в северной части Иркутской области в границах деятельности Тайшетского отделения. Участок, протяженностью 235 километров, имеет



сложный профиль пути, включающий в себя значительное количество кривых малого радиуса, лимитирующих подъемов и т.д. На данном участке работают такие грузовые электровозы переменного тока, как: ВЛ80в/и; 1,5ВЛ80в/и; 2(3)ЭС5К (стандартного исполнения).

Например, на перегоне Усть-Илимск – Тушама электровоз 2ЭС5К перевозит не более 2000 т груза (ВЛ80Р – 2200 т), при этом, анализируя режимную карту данного участка, видно, что более 70 % времени на данном перегоне он работает в режиме двойной тяги. Такая организация вождения грузовых поездов также негативно влияет на форму и величину напряжения в контактной сети. Электровозы часто работают в тяжелых для них условиях эксплуатации, когда напряжение в контактной сети принимает значение 19 кВ, рис. 2.

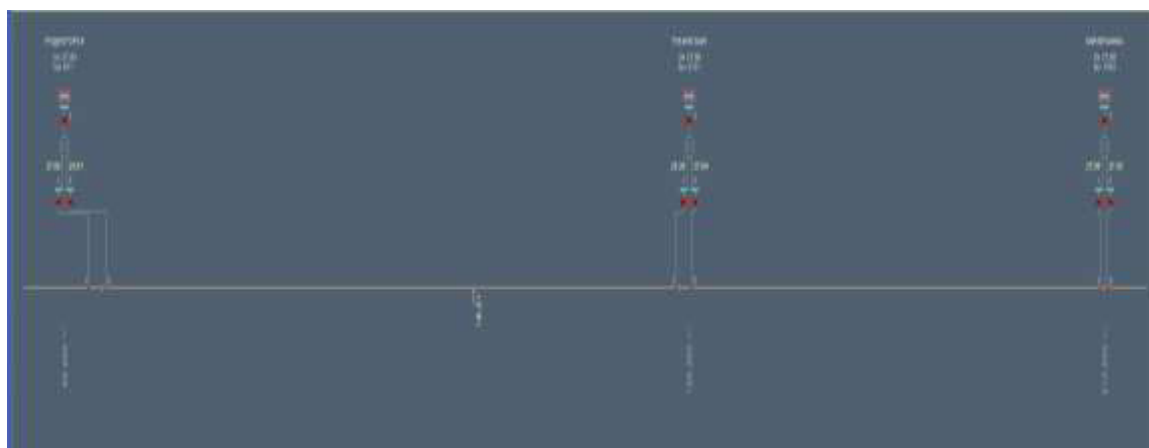


**Рис. 2.** Результаты расчёта уровня напряжения в контактной сети при следовании состава на участке,  $U_{\text{кв}} = 18,21$  кВ

Далее для рассматриваемого участка был проведен аналитический расчет максимальной массы состава при движении грузового поезда с серийным электровозом серии 3ЭС5К и модифицированного 3ЭС5К с поосным регулированием на основании Правил тяговых расчетов (ПТР) для поездной работы (утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 867р от 12.05.2016) по методике, описанной в методических указаниях по тяговым расчетам [2]. Результаты расчета представлены в табл. 1. Расчет проводится при номинальных значениях диаметров бандажей колесных пар электровоза,  $D_b = 1250$  мм. Расчетный подъем был выбран из режимной карты для рассматриваемого участка и составляет 17 ‰.

*Таблица 1*

**Результаты расчёта массы состава для рассматриваемых электровозов при номинальном напряжении в контактной сети**

| Серия электровоза                                                          | Рассчитанные показатели |              |               |                |         |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|---------------|----------------|---------|
|                                                                            | $F_{кр}$ , кН           | $V_p$ , км/ч | $w'_{0,}$ Н/т | $w''_{0,}$ Н/т | $Q$ , т |
| Серийный электровоз серии 3ЭС5К                                            | 733                     | 47,7         | 29,9          | 14,6           | 3700    |
| Модифицированный электровоз серии 3ЭС5К с поосным регулированием силы тяги | 822                     | 51,7         | 31,5          | 15,3           | 4300    |

На основании проведенного расчета было проведено моделирование в программной среде КОРТЭС при различных вариантах ведения поезда:

- серийный электровоз 3ЭС5К (масса состава 3400 тонн, напряжение в контактной сети 19 кВ);
- серийный электровоз 3ЭС5К (масса состава 3400 тонн, напряжение в контактной сети 25 кВ);
- серийный электровоз 3ЭС5К (масса состава 4500 тонн, напряжение в контактной сети 19 кВ, режим двойной тяги на руководящем подъеме);
- серийный электровоз 3ЭС5К (масса состава 4500 тонн, напряжение в контактной сети 19 кВ, режим двойной тяги на руководящем подъеме);
- модифицированный электровоз 3ЭС5К с поосным регулированием силы тяги (масса состава 4200, напряжение в контактной сети 19 кВ);
- модифицированный электровоз 3ЭС5К с поосным регулированием силы тяги (масса состава 4200, напряжение в контактной сети 25 кВ).

Заданный для тяговых расчетов профиль пути рассматриваемого участка представлен на рис. 3.

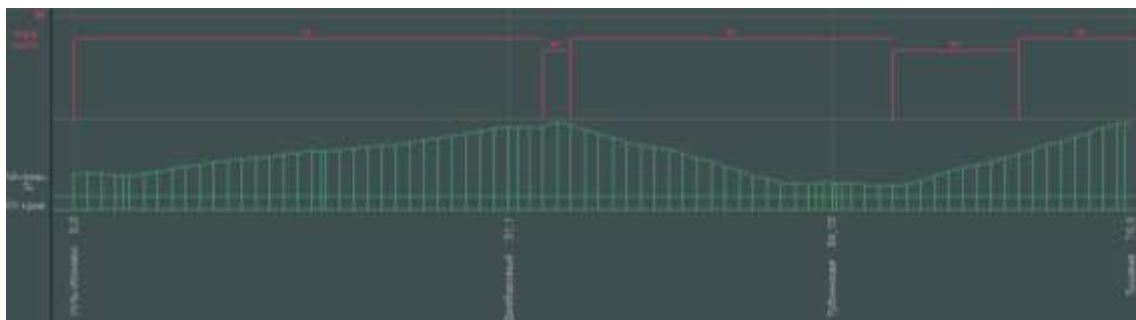


**Рис. 3.** Заданный для тяговых расчётов профиль пути на участке Усть-Илимск – Тушамы

Характеристики тягового режима вышеуказанных электровозов, при моделировании в программной среде КОРТЭС, представлены на рис. 4-5.

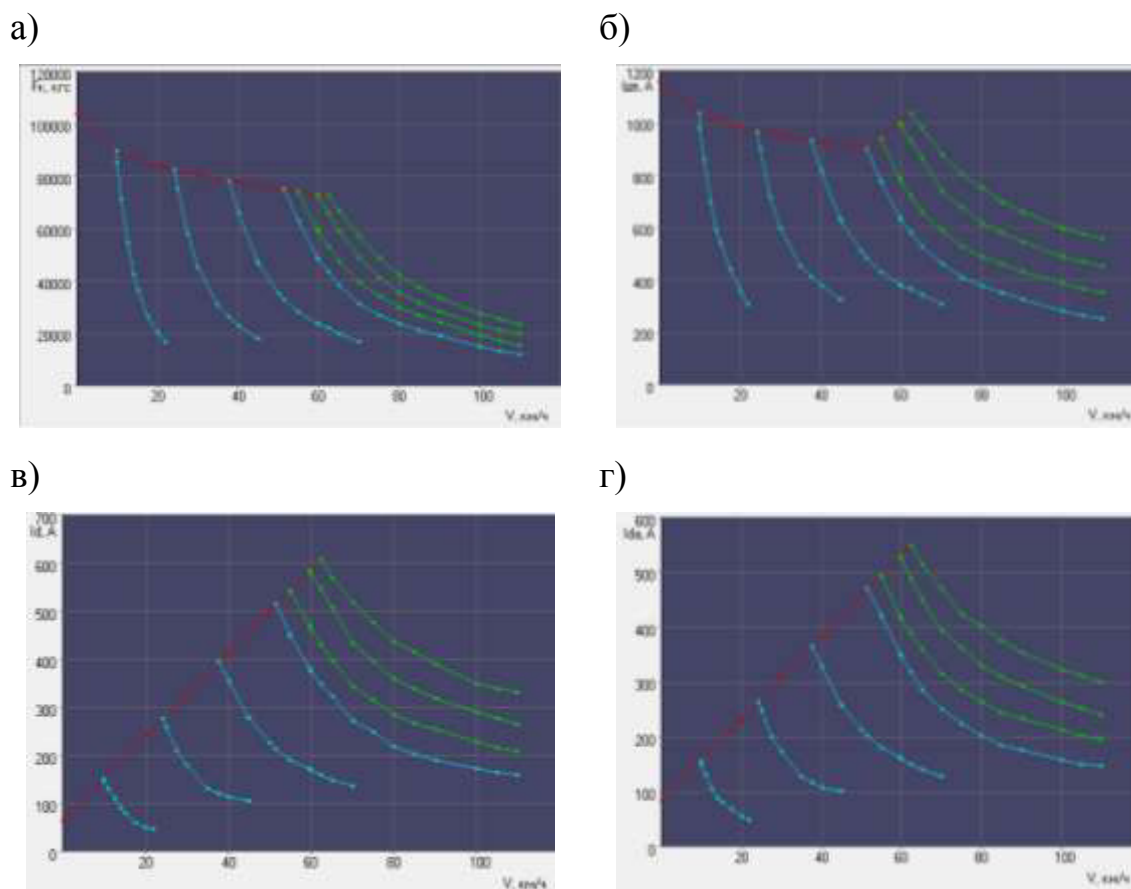


**Рис. 4.** Характеристики тягового режима серийного электровоза серии 3ЭС5К, необходимые для проведения тяговых расчетов в программном комплексе КОРТЭС: а – тяговые характеристики электровоза; б – токовые характеристики двигателя; в – токовые характеристики электровоза; г – характеристики активного тока электровоза

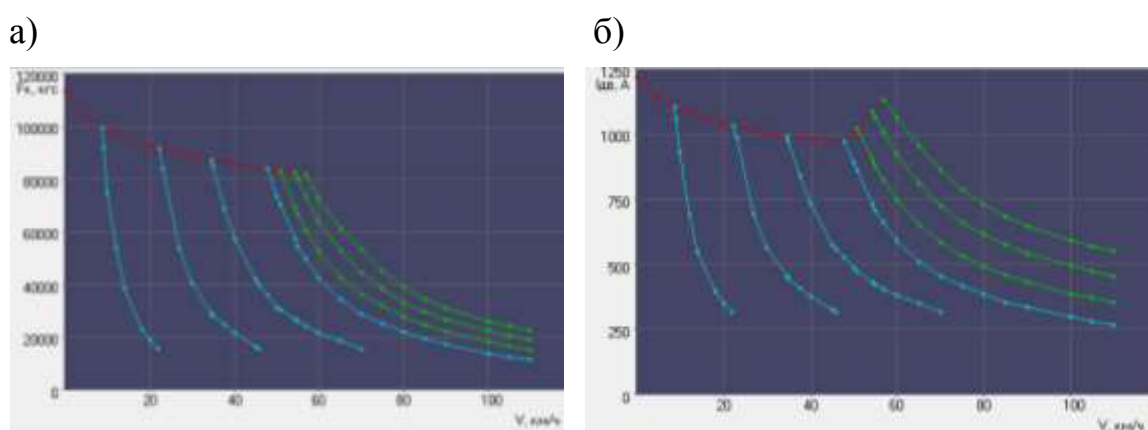
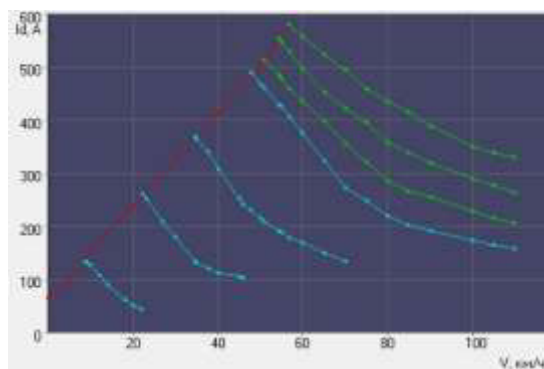


**Рис. 5 (начало).** Характеристики тягового режима электровоза 3ЭС5К с пoоcным регулированием, необходимые для проведения тяговых расчётов в программном комплексе КОРТЭС: а – тяговые характеристики электровоза; б – токовые характеристики двигателя; в – токовые характеристики электровоза; г – характеристики активного тока электровоза

в)



г)

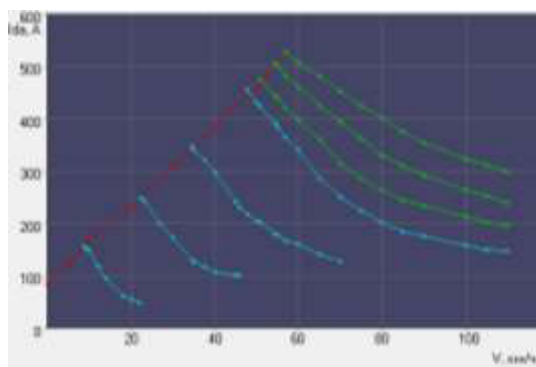


**Рис. 5** (окончание). Характеристики тягового режима электровоза 3ЭС5К с по-  
осным регулированием, необходимые для проведения тяговых расчётов в програм-  
ном комплексе КОРТЭС: а – тяговые характеристики электровоза; б – токовые ха-  
рактеристики двигателя; в – токовые характеристики электровоза; г – характери-  
стики активного тока электровоза

Результаты расчета при работе серийного электровоза серии 3ЭС5К,  
по заданным ранее условиям, представлены табл. 2-3 соответственно.

*Таблица 2*

**Полученные показатели серийного электровоза 3ЭС5К  
при следовании с составом массой 3400 т  
на рассматриваемом участке при номинальном и пониженном  
напряжении в контактной сети**

| Напряжение контактной сети, кВ | Время хода,<br>мин. |           | Расход<br>электроэнергии |                  | Удельный<br>расход<br>электроэнергии |                       | Техническая скорость, км/ч | Максимальный ток электровоза, А | Максимальный перегрев обмотки, °С |
|--------------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                | полное              | под током | активный,<br>кВт×ч       | полный,<br>кВа×ч | активный,<br>В×А×ч/т×км              | полный,<br>В×А×ч/т×км |                            |                                 |                                   |
| 19                             | 84,7                | 54,6      | 7345,2                   | 8101,3           | 26,4                                 | 29,1                  | 53,5                       | 652                             | 119                               |
| 25                             | 80,8                | 48,5      | 7884,9                   | 8717,1           | 28,3                                 | 31,3                  | 56                         | 628                             | 98                                |
| Разность                       | 3,9                 | 6,1       | -537,9                   | -615,8           | -1,9                                 | -2,2                  | -2,5                       | 24                              | 21                                |

Таблица 3

**Полученные показатели серийного электровоза 3ЭС5К  
при следовании в режиме двойной тяги составом массой 4500 т  
на рассматриваемом участке при номинальном и пониженном  
напряжении в контактной сети**

| Напряжение контактной сети, кВ | Время хода,<br>мин. |           | Расход<br>электроэнергии |                  | Удельный<br>расход<br>электроэнергии |                       | Техническая скорость, км/ч | Максимальный ток электровоза, А | Максимальный перегрев обмотки, °С |
|--------------------------------|---------------------|-----------|--------------------------|------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                | полное              | под током | активный,<br>кВт×ч       | полный,<br>кВа×ч | активный,<br>В×А×ч/т×км              | полный,<br>В×А×ч/т×км |                            |                                 |                                   |
| 19                             | 86,4                | 55,4      | 9468,9                   | 10496,5          | 26,2                                 | 29                    | 52,5                       | 979                             | 117                               |
| 25                             | 80,3                | 47,7      | 10126,5                  | 11210,1          | 28                                   | 31                    | 56,4                       | 942                             | 99                                |
| Разность                       | 6,1                 | 7,7       | -657,6                   | -713,6           | -1,8                                 | -2                    | -3,9                       | 37                              | 18                                |

По проведенному моделированию работы серийного электровоза на рассматриваемом участке можно сделать следующие выводы:

- максимальный вес состава, который может перевезти серийный электровоз переменного тока 3ЭС5К, удовлетворяя всем условиям проведения тяговых расчетов, составляет 3400 тонн;
- максимальный вес состава, который может перевезти серийный электровоз переменного тока 3ЭС5К в режиме двойной тяги, удовлетворяя всем условиям проведения тяговых расчетов, составляет 4500 тонн, при этом расчетная скорость электровоза стала ниже расчетной не более, чем на 500 метров, рис. 6.

Результаты расчета при работе модифицированного электровоза серии 3ЭС5К с поосным регулированием силы тяги, по заданным ранее условиям, представлены табл. 4.

**РАЗДЕЛ 1. Подвижной состав железных дорог  
(электровозы, тепловозы и вагоны)**

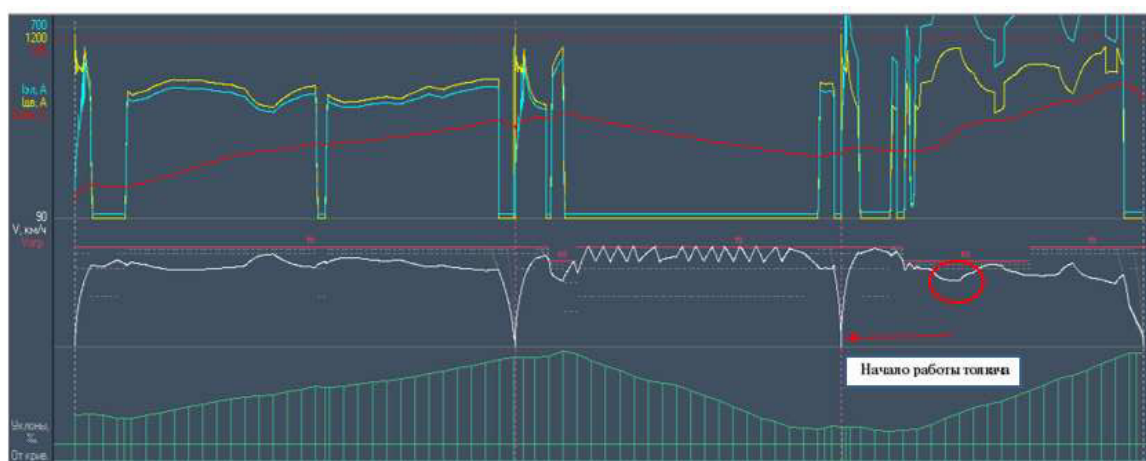


**Рис. 6.** Результаты тяговых расчетов в программе КОРТЭС следования грузового поезда с серийным электровозом ЗЭС5К в режиме двойной тяги по участку Усть-Илимск – Тушамы при пониженном напряжении в контактной сети с весом состава 4500 тонн

*Таблица 4*

**Полученные показатели серийного электровоза ЗЭС5К  
при следовании в режиме двойной тяги составом массой 4500 т  
на рассматриваемом участке при номинальном и пониженном  
напряжении в контактной сети**

| Напряжение контактной сети, кВ | Время хода, мин. |           | Расход электроэнергии |               | Удельный расход электроэнергии |                    | Техническая скорость, км/ч | Максимальный ток электровоза, А | Максимальный перегрев обмотки, °С |
|--------------------------------|------------------|-----------|-----------------------|---------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                | полное           | под током | активный, кВт×ч       | полный, кВа×ч | активный, В×А×ч/т×км           | полный, В×А×ч/т×км |                            |                                 |                                   |
| 19                             | 88,1             | 57,1      | 7936,1                | 8685,7        | 26,3                           | 28,8               | 51,4                       | 607                             | 154                               |
| 25                             | 81,8             | 49,9      | 8917,9                | 9749,5        | 27,5                           | 30                 | 55,4                       | 599                             | 147                               |
| Разность                       | 6,3              | 7,2       | -981,8                | -1063,8       | -1,2                           | -1,2               | -4                         | 8                               | 7                                 |



Таким образом, независимое возбуждение и поосное регулирование силы тяги рассматриваемого электровоза позволяют перевозить составы большей массы без применения двойной тяги, сравнительно с серийным электровозом 3ЭС5К. При следовании грузового поезда без подталкивания на затяжном подъеме вес состава увеличился на 900 тонн (серийный 3ЭС5К – 3400 т; 3ЭС5К с поосным регулированием – 4200 т). В связи с тем, что напряжение в контактной сети на данном участке нестабильное и часто принимает значение 19 кВ, расчеты проводились для номинального и пониженного напряжения, следовательно, максимально-допустимая масса состава принималась с условием, что состав успешно будет проведен по участку при напряжении в контактной сети 19 кВ.

*Библиографический список*

1. Осипов, С. И. Теория электрической тяги : учебник для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / С. И. Осипов, С. С. Осипов. – Москва : УМК МПС РФ. – 2000. – 592 с. – Текст : непосредственный.
2. Правила тяговых расчётов для поездной работы [утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 867р от 12.05.2016]. – 514 с. – Текст : непосредственный.

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

**В. А. Кручек**  
*Петербургский государственный университет путей сообщения,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

**МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ПОДКОЖУХОВОГО  
ЛЬДООБРАЗОВАНИЯ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЯХ  
КОЛЕБАНИЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*В статье рассматривается методика выявления подкожухового льдообразования в гидравлических гасителях колебаний. Рассмотрена принципиальная схема устройства гидрогасителя. Указан конструктивный недостаток защитных кожухов телескопических гидрогасителей, который заключается в возможности образования в полости*

*под проушиной снежно-ледяной массы, которая может привести к механическим повреждениям конструкции гидрогасителя, так и к блокировке его работы.*

*Рассмотрены некоторые мероприятия, направленные на устранение подкожухового льдобразования, такие как установка снегоотражающих щитков и проверка подкожухового пространства на предмет наличия снежно-ледяной массы с помощью специализированного щупа.*

*Предложена и описана конструкция усовершенствованного щупа для выявления подкожухового льдобразования в гидрогасителях. Описана методика его применения при техническом обслуживании гидродемпферов.*

*Ключевые слова: гидравлический гаситель колебаний, гидрогаситель, гидродемпфер, рессорное подвешивание, подвижной состав, локомотив, пассажирский вагон, грузовой вагон, подкожуховое льдобразование.*

На сегодняшний день гидравлические гасители колебаний являются одним из важных элементов рессорного подвешивания подвижного состава железнодорожного транспорта. Их основной функцией является гашение колебательных движений путем преобразования их механической энергии в тепловую энергию. Это происходит благодаря вязкому трению, возникающему, благодаря прохождению рабочей жидкости гидрогасителя через калиброванные отверстия и систему клапанов [1].

Гидродемпферы нашли широкое применение в рессорном подвешивании как пассажирских вагонов, так и локомотивов [2, 3]. Постепенно гидрогасители начинают применяться и в рессорном подвешивании грузовых вагонов [4, 5].

Основным типом гидравлических гасителей колебаний, применяемым в рессорном подвешивании подвижного состава, являются гидрогасители телескопической конструкции. Конструкция данного типа гидрогасителей включает: верхнюю и нижнюю проушины (или иное приспособление для присоединения к раме тележки), защитный кожух, корпус, внутри которого располагаются поршень со штоком, система клапанов, резиновые уплотнения и цилиндр. Схема данного типа гидрогасителя представлена на рис. 1.

Гидравлические гасители колебаний обладают как достоинствами, так и недостатками. Причиной одного из недостатка гидрогасителей является несовершенство конструкции защитного кожуха. Так, в зимний период года в подкожуховой области над направляющей втулкой гидрогасителя происходит возникновение подкожухового льдобразования. Механизм образования данного явления связан с тем, что из-за замкну-

тости подкожуховой области происходит накопление снега, который приносит набегающий поток воздуха, а так как снежная масса фактически заблокирована, то происходит ее постепенное спрессование и превращение в лед из-за воздействия тепла при работе гидрогасителя и последующего охлаждения [6, 7].

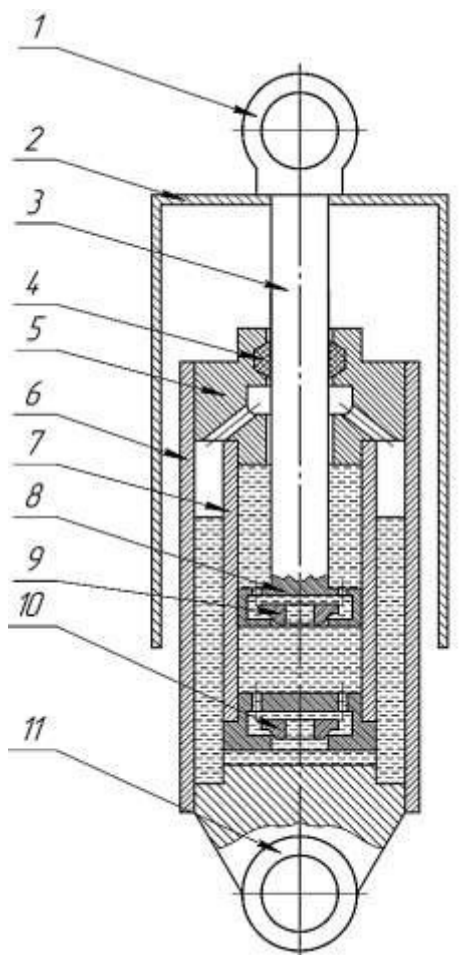


**Рис. 1.** Принципиальная схема устройства телескопического гидравлического гасителя колебаний: 1 – верхняя проушина, 2 – защитный кожух, 3 – шток, 4 – защитное уплотнение, 5 – направляющая втулка, 6 – корпус, 7 – цилиндр рабочей камеры, 8 – поршень, 9 – клапан в поршне, 10 – перепускной клапан, 11 – нижняя проушина

Образовавшаяся снежно-ледяная масса приводит к блокировке рабочего хода штока гидрогасителя, что негативным образом сказывается в целом на работе рессорного подвешивания единицы подвижного состава. Блокирование работы гидравлических гасителей колебаний может привести к механическим повреждениям рамы тележки, например, трещинам [8] (рис. 2). Также образование снежно-ледяной массы может

привести к повреждениям защитных уплотнений в направляющей втулке гидрогасителя.



**Рис. 2.** Трещина в раме тележки пассажирского вагона, образовавшаяся вследствие неисправности гидродемпфера: 1 – гидродемпфер, 2 – зона возникновения трещины, 3 – кронштейн крепления гидродемпфера

Поэтому явление подкожухового льдообразования требует достаточно пристального внимания. В эксплуатации для минимизации вероятности возникновения подкожухового льдообразования устанавливают снегоотражающие щитки [9]. Установленные щитки продемонстрированы на рис. 3.



**Рис. 3.** Снегоотражающие щитки для гидрогасителей тележек пассажирских вагонов ТВЗ-ЦНИИ: 1 – снегоотражающие щитки, 2 – гидрогаситель, 3, 4 – места крепления гидрогасителя к раме тележки

Возможным решением может быть совершенствование конструкции гидрогасителя таким образом, чтобы исключить возникновение указанного явления. Однако, большая часть предлагаемых решений не стали массовыми, а в некоторых случаях остались лишь на бумаге. Известно, что применение резиновых сильфонов нашло широкое распространение, но гидрогасители с данным элементом конструкции применяются без защитного металлического кожуха, что снижает его устойчивость к различным механическим повреждениям.

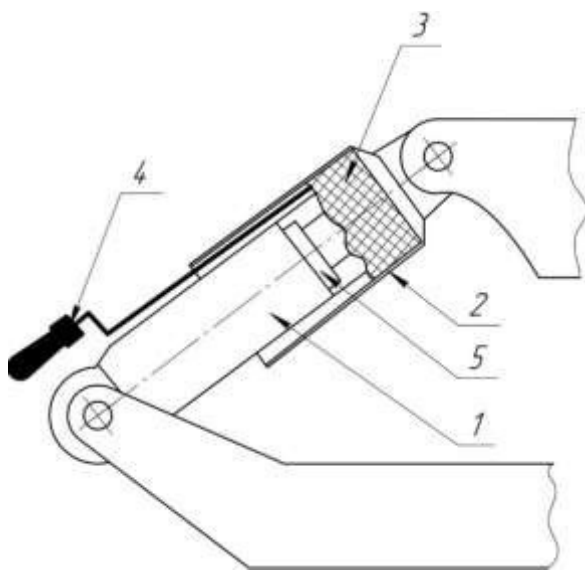


**Рис. 4.** Схема выявления подкожухового льдообразования: 1 – гидродемпфер, 2 – защитный кожух, 3 – подкожуховое льдообразование, 4 – щуп, 5 – защитное уплотнение

Если значения не совпадают, то делают вывод о наличии подкожухового льдообразования. Другим признаком, косвенное дающим понятие о наличии подкожухового льдообразования, является провисание защитного кожуха у гидрогасителя.

Описанную методику диагностирования подкожухового льдообразования можно усовершенствовать через улучшение измерительного щупа. В [11] предлагается конструкция щупа для выявления подкожухового льдообразования. Улучшение щупа заключается в специальных выступках, расположенных на измерительной линейке на расстояниях, равных длинам защитных кожухов различных гидрогасителей (рис. 5). Процесс выявления льдообразования предложенным щупом заключается в следующем: в область между кожухом и корпусом гасителя так же

Другим решением является своевременная диагностика состояния гидрогасителя на предмет возникновения подкожухового льдообразования. Так, в [10] описывается методика выявления подкожухового льдообразования с помощью специального щупа (рис. 4). Щуп представляет собой измерительную линейку, оснащенную рукоятью. Данный щуп используется следующим способом: в гидрогаситель, установленным в тележке, вставляется линейка в область между корпусом гасителя и его кожухом и определяется расстояние. Затем производится замер длины защитного кожуха.

вставляется измерительная линейка (рис. 6). Если нижний край кожуха касается выступа, соответствующего марке гасителя, то делается вывод об отсутствии подкожухового льдообразования, в противном случае о наличии льдообразования. Измерительная шкала на линейке в таком случае позволит определить величину подкожухового льдообразования.

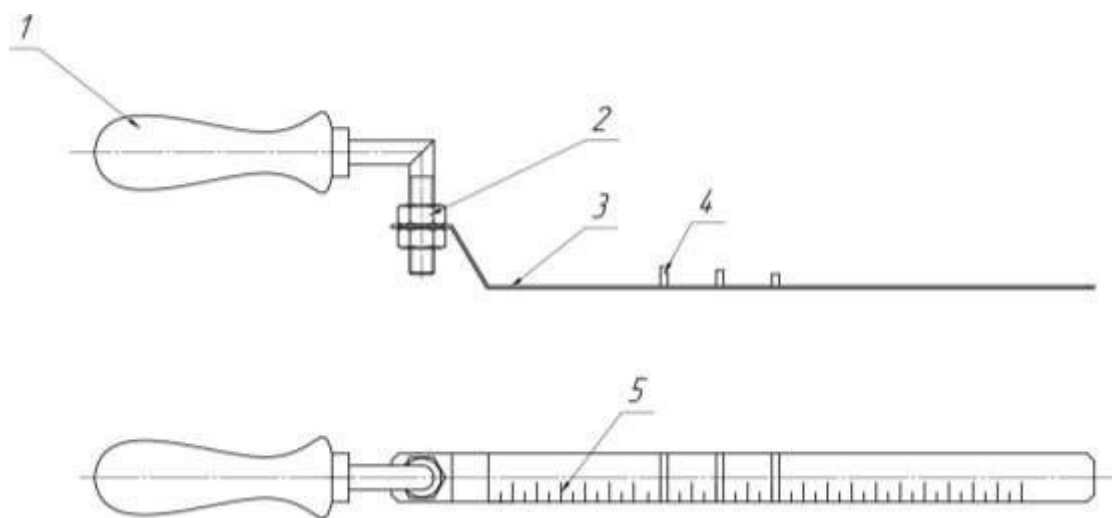


**Рис. 5.** Конструкция усовершенствованного щупа: 1 – рукоять, 2 – резьбовое соединение, 3 – измерительная линейка, 4 – выступы, 5 – измерительная шкала

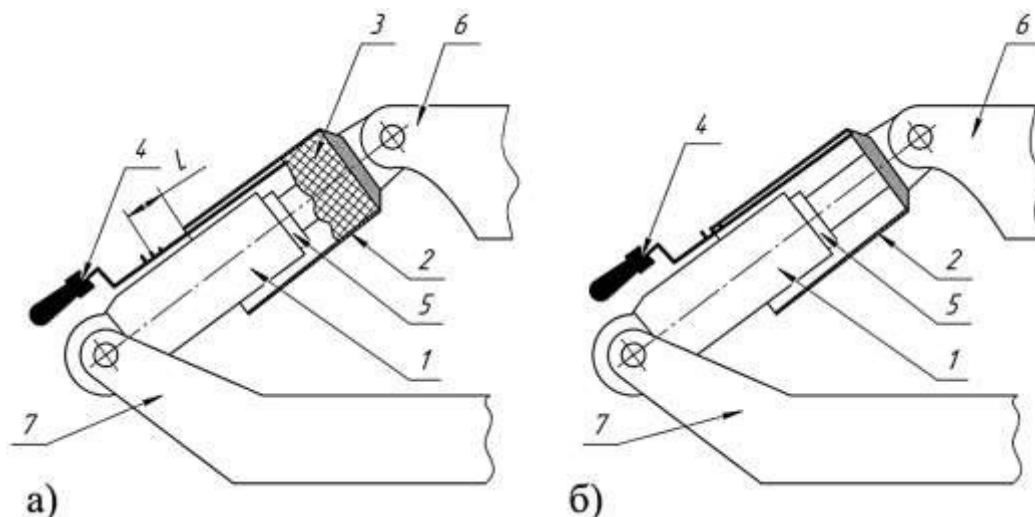


**Рис. 6.** Схема выявления подкожухового льдообразования усовершенствованным щупом: а – при наличии льдообразования: 1 – корпус гидрогасителя, 2 – защитный кожух, 3 – подкожуховое льдообразование, 4 – усовершенствованный щуп, 5 – защитное уплотнение, 6 – верхний кронштейн крепления, 7 – нижний кронштейн крепления, L – расстояние от края выступа щупа до нижнего края кожуха гасителя; б – без льдообразования: 1 – корпус гидрогасителя, 2 – защитный кожух, 4 – усовершенствованный щуп, 5 – защитное уплотнение, 6 – верхний кронштейн крепления, 7 – нижний кронштейн крепления



Положительный эффект от применения предлагаемой конструкции измерительного щупа может заключаться в сокращении времени, затрачиваемого на техническое обслуживание ходовой части подвижного состава, оснащенного гидродемпферами, путем сокращения количества измерений.

Таким образом, предложенная методика выявления подкожухового льдообразования в гидравлических гасителях колебаний позволит повысить работоспособность подвижного состава, так как минимизируется влияние подкожухового льдообразования в гидрогасителях рессорного подвешивания.

#### *Библиографический список*

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

2. Трескин, С. В. Применение гидравлических гасителей колебаний в рессорном подвешивании тягового подвижного состава / С. В. Трескин. – Текст : непосредственный // Наука и образование: достижения и перспективы : материалы VIII Международной научно-практической конференции, Саратов, 21 декабря 2023 года. – Самара – Саратов : Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2023. – С. 110–114.

3. Механическая часть тягового подвижного состава / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак [и др.] ; под редакцией И. В. Бирюкова. – Москва : Транспорт, 1992. – 439 с. – Текст : непосредственный.

4. 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. – Том 21. – № 3. – С. 598–608.

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

6. Левит, Г. М. Предотвращение льдообразования в гидрогасителях / Г. М. Левит, С. В. Мамонтов. – Текст : непосредственный // Транспорт-2011 : труды Всероссийской научно-практической конференции. – В 3-х частях. – Ростов-на-Дону, 01 апреля 2011 года / Министерство транспорта РФ, Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Южный научный центр РАН, Российский национальный комитет по трибологии, Ростовский государственный университет путей

сообщения, Российская академия транспорта ; редактор А. Н. Гуда. – Часть 2. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2011. – С. 313.

7. Стрельцов, А. Учёные разработали методы борьбы с оледенением / А. Стрельцов. – Текст : электронный // Гудок : [сайт]. – URL : <https://gudok.ru/content/zd/884155/> (дата обращения: 18.09.2024).

8. 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.

9. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту гидравлических и фрикционных гасителей колебаний пассажирских вагонов, 2014 г. – Текст : непосредственный.

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

11. Патент на полезную модель № 228190 U1 Российская Федерация, МПК G01B 3/00. Щуп для определения подкожухового льдообразования в гидравлических гасителях колебаний : № 2024106657 : заявл. 11.03.2024 : опубл. 19.08.2024 / С. В. Трескин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения. – Текст : непосредственный.

***Р. И. Чернин***

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

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗВИЛИСТОГО ДВИЖЕНИЯ КОЛЁСНОЙ ПАРЫ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВНУТРЕННИХ КОЛЕЦ БУКСОВЫХ ПОДШИПНИКОВ, НАПРЕССОВАННЫХ НА ШЕЙКУ ОСИ**

*Колёсные пары подвижного состава играют одну из важнейших ролей в обеспечении безопасности движения поездов. Исследование факторов, влияющих на их прочность в эксплуатации, является важной научно-технической задачей. В статье приведены результаты исследования влияния на напряжённно-деформированное состояние прессового*

соединения внутренних колец буксовых подшипников извилистого движения колёсной пары.

*Ключевые слова:* колёсная пара, соединения с натягом, напряжён-но-деформированное состояние, контактное давление, извилистое движение.

В задаче обеспечения безопасности движения поездов вопросы, связанные с прочностью прессовых соединений колёсных пар в эксплуатации на сегодняшний день, являются достаточно актуальными. Так согласно данным ОАО «РЖД» [1] колёсные пары в доле отцепок вагонов в текущий отцепочный ремонт составляли 40,7 %, кроме этого, еще 1,5 % приходилось непосредственно на буксовый узел.

Для оценки влияния извилистого движения на напряжён-но-деформированное состояние напрессованных внутренних колец буксовых колец на шейку оси в соответствии [2, 3] разработана конечно-элементная модель, состоящая из 44252 конечных элементов и 86300 узлов. Верификация модели проводилась по результатам ранее проведенных экспериментальных напрессовок [4],  $\Delta$  результатов моделирования и эксперимента для нижней границы диапазона рекомендованных натягов составила 9 %, для верхней границы 1,8 %.

При исследовании изменялись следующие параметры: величина натяга (0,045 мм, 0,100 мм) нагрузка на шейку оси (1,5 т, 16,5 т), скорость движения при принятом допущении о том, что движение строго прямолинейно без поворотов (от 0 до 200 км/ч, с шагом в 25 км/ч), кроме этого из-за наличия на поверхности катания конструктивных конусностей для самоустановки колёсной пары в колее на прямом участке пути кроме вертикальной нагрузки дополнительно на торец шейки оси по переменно будет воздействовать рамная сила.

Согласно методике [5] рамная сила ( $H$ ) и коэффициент горизонтальной динамики ( $K_r$ ) определяются по формулам:

$$H = \frac{m_{\text{бр}}}{n} K_r; K_r = \lambda_r \delta (E + Fv), \quad (1)$$

где  $m_{\text{бр}}$  – масса брутто вагона;

$n$  – количество осей вагона;

$g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$v$  – скорость движения вагона, м/с;

$\lambda_r = 1,0$  (для 4-х осных грузовых, изотермических и пассажирских вагонов);

$\delta = 1,0 \cdot 10^{-3}$  (для грузовых вагонов);

$E = 40$  (для всех вагонов);

$F = 3,9$  (для грузовых вагонов).

Для определения параметров извилистого движения (частоты извилистого движения колёсной пары ( $\lambda$ ), периода извилистого движения ( $T$ ), длина волны извилистого движения ( $L$ )) использовались формулы, приведенные в работе [6]:

$$\lambda = v \cdot \sqrt{\frac{n_1 - n_2}{r_c \cdot S_m}}; T = \frac{2\pi}{\lambda}; L = v \cdot t = 2\pi \sqrt{\frac{r_c \cdot S_m}{n_1 - n_2}}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость движения, м/с;

$n_1, n_2$  – уклоны поверхностей катания колёс, для типовых значений

$n_2 = -n_1 = n = 1/20$ ;

$r_c$  – радиус цельнокатаного колеса,  $r_c = 0,475$  м;

$S_m$  – расстояние между меридиональными точками контакта колёс с рельсами,  $S_m = 1,58$  м.

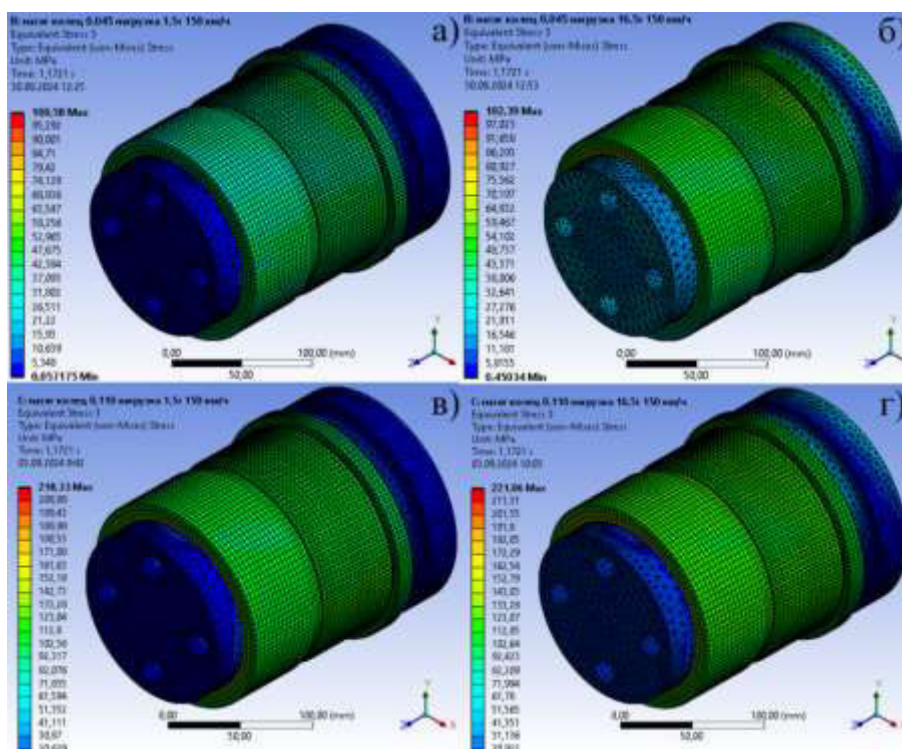


**Рис. 1.** Результаты расчёта эквивалентных напряжений в сопряжении с учетом извилистого движения колёсной пары: а – при натяге 0,045 мм, нагрузке 1,5 т; б – при натяге 0,045 мм, нагрузке 16,5 т; в – при натяге 0,110 мм, нагрузке 1,5 т; г – при натяге 0,110 мм, нагрузке 16,5 т



На рис. 1 и 2 представлены результаты расчёта модели для груженого вагона при скорости 150 км/ч, нагрузке 1,5 и 16,5 т, натягов 0,045 мм и 0,110 мм с учётом извилистого движения колёсной пары по колее.

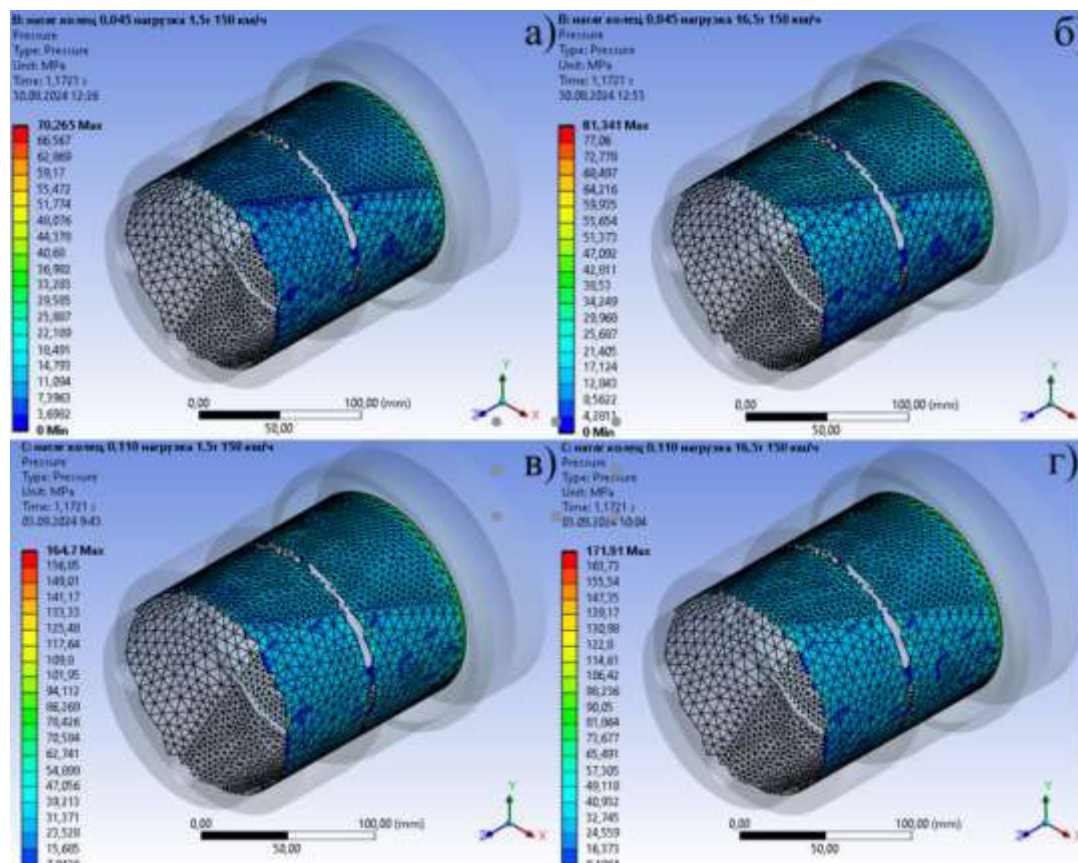


**Рис. 2.** Результаты расчёта контактного давления в сопряжении с учетом извилистого движения колёсной пары: а – при натяге 0,045 мм, нагрузке 1,5 т; б – при натяге 0,045 мм, нагрузке 16,5 т; в – при натяге 0,110 мм, нагрузке 1,5 т; г – при натяге 0,110 мм, нагрузке 16,5 т

На рис. 3 приведены влияния фактора «извилистое движение колёсной пары» на напряжённо-деформированного состояния (НДС) и контактное давление, для колец буксовых подшипников в диапазоне натягов от 0,045 до 0,110 мм и загрузке от 1,5 т до 16,5 т, при изменении скорости от 0 до 200 км/ч.

Как видно из рис. 3 увеличение скорости движения подвижного состава с учётом извилистого движения колёсной пары вызывает повышение НДС прессового соединения внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колёсной пары, а также контактного давления в зоне их сопряжения.

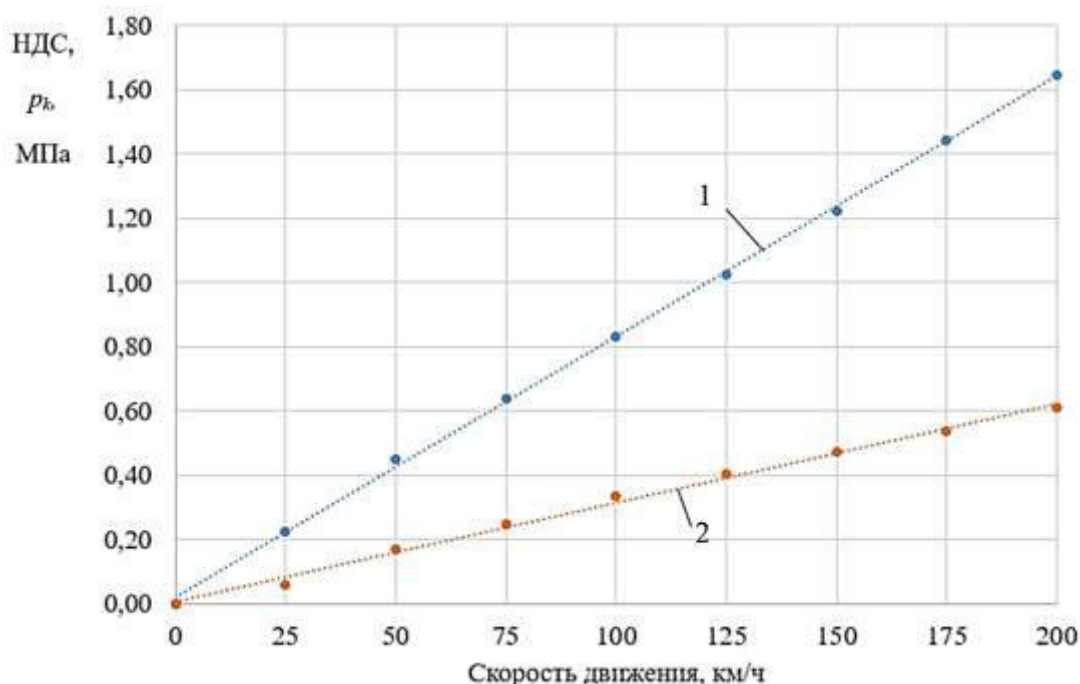


**Рис. 3.** Влияние скорости движения с учётом извилистого движения колёсной пары на НДС внутренних колец и прочность прессового соединения: 1 – НДС поверхности колец ( $y = 0,0081x + 0,0190$ ); 2 – контактное давление в зоне сопряжения колец с осью ( $y = 0,0031x + 0,0055$ )

Однако необходимо отметить, что по результатам проведенных исследований, в некоторых вариантах комбинаций входных данных (величины натяга, скорости движения, нагрузке на ось), полученные результаты невозможно использовать для определения прочности прессового соединения по установленной методике (по величине НДС на наружной поверхности внутренних колец буксовых подшипников) [7], из-за нарушения закономерностей вытекающих из решения Ляме-Гадолина (значение натяга определённого по величине НДС и по значению контактного давления имеют значительное расхождение) и поэтому для получения достоверных результатов по определению прочности прессового соединения внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси с учётом извилистого движения колёсной пары необходимо использовать значение контактного давления в зоне сопряжения.

#### *Библиографический список*

1. Агафонов, М. С. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт в I квартале 2024 г. Поступление грузовых вагонов парка РФ в текущие ремонты (ТР-1, ТР-2) / М. С. Агафонов // Вагоны и вагонное хозяйство. – № 2 (78). – 2024. – С. 12–13. – Текст : непосредственный.



2. Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия: ГОСТ 33200-2014 ; введ. РБ 01.10.2016. – Москва : АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), 2014. – 50 с. – Текст : непосредственный.

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). – 253 с. – Текст : непосредственный.

4. О контроле прочности соединений с гарантированным натягом колец подшипников с шейками осей колёсных пар / И. Л. Чернин [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – Наука и транспорт. – 2010. – № 1 (20). – С. 5–9.

5. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – Москва, 1996. – 319 с. – Текст : непосредственный.

6. Власов, С. А. Математическая модель кинематики колёсной пары вагона при свободном качении на прямом участке пути / С. А. Власов. – Текст : непосредственный // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сборник статей VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 20 мая 2020 г. / под научной редакцией Б. Н. Гузанова ; ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет». – Екатеринбург, 2020. – С. 63–68.

7. Методологические основы нового способа неразрушающего контроля прочности сопряжения деталей соединений с натягом колёсных пар / В. И. Сенько [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – Наука и транспорт. – 2010. – № 2 (21). – С. 5–9.

8. Иванова, Т. В. Оптимизация назначенного срока службы полувагона по критерию безубыточности эксплуатации / Т. В. Иванова, Д. Г. Налабордин, Е. А. Ларченко. – Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2015. – № 11. – С. 60–68.

**С. В. Четвериков**

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

**В. В. Ходанович**

*ЛокоТЕХсервис,  
г. Чита, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3-D ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ**

*В настоящее время всё больше находят применение 3D-принтеры в самых разных областях производства, бизнеса, исследований. Использование 3D-печати уже на этапе проектирования позволяет решить с минимальными затратами конструкторские и инженерные задачи. 3D-принтеры хорошо проявили себя на всех этапах создания образцов – от концепта до производства готовых изделий.*

*Ключевые слова: литейная оснастка, стержневые ящики, 3D-принтеры, 3D-моделирование для изготовления, фотополимер, ABS-пластик.*

**Введение.** Для создания деталей сложных форм с применением литейных технологий необходимо применение дорогостоящего оборудования, изготовление модельных комплектов сопряжено с повышенной трудоёмкостью. Использование современных технологий, таких, как 3D-прототипирование, позволяет достичь конечного результата со значительно меньшими затратами. Для внедрения аддитивных технологий предлагается следующая методика изготовления литейной оснастки 3D-прототипированием:

- выбор технологии и оборудования;
- подбор материала;
- анализ возможных структур заполнения;
- достаточный уровень заполнения [1].

**Организация литейного производства на предприятиях.** Изготовление литейной оснастки осуществляется в рамках деятельности предприятия, где, как правило, применяется единичное и мелкосерийное производства. Это резко ограничивает количество решений в силу их экономической неэффективности.

В литейном производстве предприятий получают заготовки из чугуна, стали и алюминиевых сплавов, применяя литье в ПГФ и литье в кокиль.

На предприятии используют деревянные, алюминиевые модельные комплекты (стержневые ящики) и комбинированные.



*Рис. 1.* Деревянные стержневые ящики

составные неразъемные (склеенные) стержневые ящики, древесина в таком случае требует массовой закупки материала, тщательной обработки, специализированного оборудования и инструмента.

Металлические (алюминиевые) стержневые ящики применяют при серийном и крупносерийном производстве. Они обеспечивают требуемую точность и шероховатость, имеют высокий период стойкости, но в условиях единичного и мелкосерийного производства сказывается их относительная высокая трудоемкость изготовления и себестоимость [2].

На предприятиях из алюминиевых сплавов изготавливаются только стержневые ящики (рис. 2).



*Рис. 2.* Металлические стержневые ящики

Деревянные стержневые ящики отличаются невысокой стоимостью материала и незначительным весом.

Из недостатков можно выделить небольшой срок эксплуатации, предрасположенность дерева к впитыванию влаги, неоднородность и пористость строения, следовательно, низкую точность и большую шероховатость, трудоемкий и длительный процесс изготовления. Обычно для сложных стержней применяют

Процесс изготовления алюминиевого стержневого ящика состоит из следующих этапов:

- 1) литье заготовки из алюминиевого сплава в ПГФ;
- 2) механообработка:
  - 2.1) фрезерование сопрягаемых плоскостей;
  - 2.2) сверление отверстий под шканты, установка шкантов;
  - 2.3) растачивание отверстия;
  - 2.4) фрезерование пазов;
  - 2.5) токарная обработка вставок;

- 2.6) слесарная обработка вставок;
- 2.7) сверление, нарезание резьбы в крепежных отверстиях;
- 2.8) установка вставок.

Данные стержневые ящики, также как и деревянные, являются специальными, применяющиеся для изготовления только одного стержня, а для других стержней требуется изготовление новых стержневых ящиков. Данный недостаток частично исправляется применением комбинированных стержневых ящиков.

Комбинированные ящики (рис. 3) выполняются из двух частей – корпус из алюминиевого сплава, а вставка с рабочими поверхностями из акриловой смолы (протакрил).

Литой корпус выполняется литьем в ПГФ и требует механообработки:

- 1) фрезеруются плоскости, сопрягаемые между собой;
- 2) сверлятся отверстия под шканты, вставляются шканты;
- 3) фрезеруется полость под установку АВС – вставки.



**Рис. 3.** Комбинированные стержневые ящики

Протакрил предприятия приобретают оптом упаковками по 260 г. (160 г. порошка, 100 г. связующей жидкости).

Для получения протакриловой части комбинированного стержневого ящика необходимо тщательно смешать в пропорции 2:1 порошок и связующую жидкость, полученную массу поместить в подогреваемый алюминиевый корпус и провести прессование мастер-моделью под давлением 3–5 атмосфер.

В результате комбинированный стержневой ящик отвечает всем требованиям по прочности, точности и шероховатости при меньшей трудоемкости и меньшей себестоимости изготовления. Прочность и отсутствие пластических деформаций обеспечивает металлический корпус, а точность – протакриловый элемент.

Недостатком акриловых смесей является их повышенная по сравнению с АВС-пластиком хрупкость.

Приготовление стержней производится в бегунах литейным методом смешивания компонентов в пропорциях, указанных в табл. 1.

Таблица 1

**Состав стержневой смеси для стального литья на один замес**

| Наименование материала                                     | Единица измерения, кг | Физико-механические свойства                            |                            |              |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|--------------|
|                                                            |                       | Прочность на сжатие сырого образца на 1 см <sup>2</sup> | Газо-проницаемость, единиц | Влажность, % |
| Смесь отработанная                                         | 80                    | 0,2 – 0,4                                               | ≥130                       | 4 – 5        |
| Песок кварцевый                                            | 110                   |                                                         |                            |              |
| Глина формовочная                                          | 10                    |                                                         |                            |              |
| Крепитель – глино-сульфонат технический ТУ 54-028-00279580 | 6                     |                                                         |                            |              |

В бегуны подаются песок, отработанная смесь, размолотая формовочная глина. Время перемешивания 10–20 мин. После этого в бегуны добавляется глиносульфонат (продукт переработки древесины в целлюлозно-бумажной промышленности) и производится смешивание компонентов в течение 20–30 мин. Готовая смесь подается на участок изготовления стержней.

Далее стержневую смесь помещают в ящик и уплотняют ручным инструментом. После получения стержней их просушивают в сушильной камере при постепенном повышении температуры от 0 до 170 °С.

Для исключения эффекта прилипания к поверхности ящика стержневой смеси эту поверхность покрывают тонким слоем графита и керосина.

Исходя из объемов производства целесообразным является уменьшение себестоимости стержневых ящиков с сохранением всех качественных показателей. Без существенного изменения технологического процесса это возможно в частности с применением 3D-прототипирования.

**Технологии и материалы, применяемые при 3D-прототипировании.** Аддитивные технологии являются достаточно новым методом и все их возможности еще не полностью исследованы. Одними из наиболее многообещающих направлений прототипирования для адаптации в быстрое производство являются выборочное лазерное спекание (SLS) и прямое спекание металлов (DMLS) [3].

FDM устройства (устройства послойного наплавления – FDM – Fused Deposition Modeling) оснащаются несколькими экструдерами, это позволяет бороться с некоторыми недостатками, например низкой скоростью печати.

На устройствах с несколькими экструдерами можно создавать несколько идентичных объектов лишь по одной цифровой модели, и в то же



время допускают использование разных материалов и цветов. Такой подход повышает производительность, не требуя при этом использования нескольких принтеров. Также достигается определенная экономия электроэнергии за счет использования общей рабочей камеры, зачастую требующей подогрева. Вместе эти моменты снижают себестоимость изделия.

Технология FDM имеет массу преимуществ, среди которых относительная простота конструкции принтеров и ценовая доступность как устройств, так и расходных материалов. Для печати используются термопластики, но есть и исключения – композитные материалы, содержащие различные добавки.

**ABS-пластик.** Самым распространенным расходным материалом является ABS-пластик (акрилонитрилбутадиенстирол, АБС). Особая структура этого вида позволяет выдерживать сильное механическое воздействие. Такой пластик относится к ударопрочной группе и если сравнить ABS с обыкновенным полистиролом, то он в значительной степени превосходит другие аналоги в плане механической прочности и жесткости.

*Таблица 2*

**Технические характеристики ABS-пластика**

|                                 |                              |
|---------------------------------|------------------------------|
| Температура стеклования         | Около 105°С                  |
| Прочность на изгиб              | 41 МПа                       |
| Предел прочности на разрыв      | 22 МПа                       |
| Модуль упругости при растяжении | 1627 МПа                     |
| Относительное удлинение         | 6 %                          |
| Усадка при охлаждении           | До 0,8 %                     |
| Плотность материала             | Около 1,05 г/см <sup>3</sup> |

**PLA-пластик.** PLA-пластик (полилактид, ПЛА) является самым экологически чистым и подходящим расходным материалом для трёхмерной печати. Данный вид пластика – это термопластичный полиэфир, который создаётся из биологических отходов (сахарная свекла или силос кукурузы, сырьем для получения служат также картофельный и кукурузный крахмал, соевый белок, крупа из клубней маниока, целлюлоза). Его мономером является молочная кислота. Распечатанные объекты имеют отличный уровень скольжения и из такого пластика даже можно производить подшипники скольжения.

Чаще всего такой материал используется для изготовления детских игрушек потому, что PLA пластик обладает наименьшим уровнем токсичности. Единственным недостатком полилактида является недолговечность и постепенное разложение.



Таблица 3

**Технические характеристики PLA-пластика**

|                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Температура плавления               | 173–178 °С                  |
| Температура размягчения             | 50 °С                       |
| Твердость (по Роквеллу)             | R70-R90                     |
| Относительное удлинение при разрыве | 3,8 %                       |
| Прочность на изгиб                  | 55,3 МПа                    |
| Прочность на разрыв                 | 57,8 МПа                    |
| Модуль упругости при растяжении     | 3,3 ГПа                     |
| Модуль упругости при изгибе         | 2,3 ГПа                     |
| Температура стеклования             | 60–65 °С                    |
| Плотность                           | 1,23-1,25 г/см <sup>3</sup> |
| Минимальная толщина стенок          | 1 мм                        |
| Точность печати                     | ± 0,1 %                     |
| Размер мельчайших деталей           | 0,3 мм                      |
| Усадка при изготовлении изделий     | нет                         |
| Влагопоглощение                     | 0,5–50 %                    |

**Фотополимерные смолы.** Для печати фотополимерами используется фирменная технология фотополимерной 3D-печати PolyJet, практически аналогичную MJM (многоструйной печати). Хотя эти две технологии существенно отличаются от лазерной стереолитографии, в качестве расходных материалов используются фотополимерные смолы. Так как фотополимерные принтеры в основном предназначены для профессионального и промышленного использования, компания разработала свою линейку расходных материалов.

Отличительной особенностью технологии PolyJet является возможность сочетания разных фотополимеров для получения композитных материалов с уникальными характеристиками – так называемых «цифровых» полимеров.

Виды фотополимерных смол:

- высокотемпературный фотополимер;
- прозрачные фотополимеры;
- непрозрачные прочные фотополимеры;
- имитаторы полипропилена;
- имитаторы резины;
- биосовместимые фотополимеры;
- стоматологические фотополимеры;
- цифровой ABS-пластик.

Высокотемпературный фотополимер RGD525 выдерживает нагревание до 75–80 °С после термической обработки готовых моделей.

Высокая термоустойчивость позволяет использовать этот материал для прототипирования функциональных патрубков и кранов с целью изучения потоков горячей воды или воздуха.

RGD720 – универсальный фотополимер для имитации стандартных прозрачных термопластиков. Материал обладает высокой прочностью и позволяет создавать модели с гладкими поверхностями.

VeroClear-RGD-810 – прочный, почти прозрачный материал для имитации органического стекла (PMMA).

Имитаторы полипропилена Endur RGD450 – продвинутая версия, отличающаяся высокой износоустойчивостью и возможностью создания красивых поверхностей. Материал ориентирован на безопасность применения в офисных условиях и может быть использован для создания функциональных прототипов или готовых изделий. Материал имеет яркий белый цвет.

Durus RGD430 – оригинальная версия, отличающаяся прекрасной ударостойкостью и высокой прочностью на разрыв: удлинение при разрыве достигает 44 %.

Изготовление стержневых ящиков. В результате анализа литейного производства и изготовления литейной оснастки, используемой на предприятиях, рассмотрены следующие варианты изготовления стержневых ящиков по минимально необходимой последовательности действий и требуемому оборудованию [4].

*Таблица 4*

**Варианты изготовления стержневых ящиков**

| №<br>п/п | Процесс изготовления<br>алюминиевого<br>стержневого ящика | Процесс изготовления<br>комбинированного<br>стержневого ящика<br>с акриловой вставкой | Процесс изготовления<br>комбинированного<br>стержневого ящика<br>со вставкой<br>из АВС-пластика |
|----------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Литье заготовок<br>из алюминиевого сплава                 | Литье заготовок<br>из алюминиевого сплава                                             | Литье заготовок<br>из алюминиевого сплава                                                       |
| 2        | Фрезерование сопряга-<br>емых плоскостей                  | Фрезерование сопряга-<br>емых плоскостей                                              | Фрезерование сопряга-<br>емых плоскостей                                                        |
| 3        | Сверление отверстий<br>под шканты, установка<br>шкантов   | Сверление отверстий<br>под шканты, установка<br>шкантов                               | Сверление отверстий<br>под шканты, установка<br>шкантов                                         |
| 4        | Растачивание отверстия                                    | –                                                                                     | –                                                                                               |
| 5        | Фрезерование пазов                                        | Фрезерование полости<br>под установку акрило-<br>вой вставки                          | Фрезерование полости<br>под установку АВС-<br>вставки                                           |

Окончание табл. 4

| №<br>п/п     | Процесс изготовления<br>алюминиевого<br>стержневого ящика | Процесс изготовления<br>комбинированного<br>стержневого ящика<br>с акриловой вставкой                                                        | Процесс изготовления<br>комбинированного<br>стержневого ящика<br>со вставкой<br>из АВС-пластика |
|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6            | Токарная обработка<br>вставок                             | —                                                                                                                                            | —                                                                                               |
| 7            | Слесарная обработка<br>вставок                            | —                                                                                                                                            | —                                                                                               |
| 8            | Сверление, нарезание<br>резьбы в крепежных<br>отверстиях  | —                                                                                                                                            | —                                                                                               |
| 9            | —                                                         | Производство мастер-<br>модели                                                                                                               | Печать 3D-прототипа<br>АВС-вставки                                                              |
| 10           | —                                                         | Приготовление формо-<br>вочной акриловой смеси                                                                                               | Ацетоновая баня                                                                                 |
| 11           | —                                                         | Формовка акриловой<br>смеси                                                                                                                  |                                                                                                 |
| 12           | Установка вставок                                         | Установка акриловых<br>вставок                                                                                                               | Установка вставок                                                                               |
| Оборудование | Станок с ЧПУ<br>или 4 универсальных<br>станка             | Станок с ЧПУ или<br>2 универсальных стан-<br>ка, формы для изготов-<br>ления мастер-модели,<br>установка для прессо-<br>вания, полимеризатор | Вертикально-фрезерный<br>станок, 3D-принтер,<br>установка для ацетоно-<br>вой бани              |

В первых двух вариантах предпочтителен многофункциональный станок с ЧПУ для изготовления рабочей полости в первом случае и производства мастер модели во втором.

**Выводы.** Анализ затрат при проектировании комбинированных стержневых ящиков с использованием 3D-прототипирования позволяет сделать выводы о достижении приемлемого уровня издержек при изготовлении деталей из пластмасс с, необходимым качеством и значительным сокращением длительности производственного процесса.

На основе анализа производства литейной оснастки выявлена предпочтительность получения комбинированных стержневых ящиков с применением 3D-прототипирования.

#### *Библиографический список*

1. Зуев, А. С. Способ изготовления моделей-образцов из песчано-полимерной композиции / А. С. Зуев, А. Ю. Емашев, А. А. Мокина. —

Текст : непосредственный // Технология машиностроения. – 2019. – № 2. – С. 12–15.

2. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М. А. Злеко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с. – Текст : непосредственный.

3. Четвериков, С. В. Анализ областей использования 3D-прототипирования / С. В. Четвериков, В. В. Ходанович. – Текст : непосредственный // ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО : сборник материалов научно-практической конференции», 18–19 ноября 2020 г.

4. Четвериков, С. В. Использование 3D-прототипирования при отработке конструкторско-технологических приёмов создания деталей сложных форм / С. В. Четвериков. – Текст : непосредственный // Технология машиностроения. – 2021. – № 7. – С. 10–15.

***М. Е. Шубина, И. В. Ковригина***

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

## **АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТНЫХ ПОЕЗДНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ НА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

*Повышение массы поездов перевозимых грузов является приоритетным направлением развития железных дорог Восточного полигона. В представленной работе рассмотрен анализ результатов, проведённых опытных поездных испытаний в поездах массой 6300 и 7100 тонн на участке Карымская–Сковородино Забайкальской железной дороге.*

*Ключевые слова: поезда повышенной массы, боковые силы, опытные поездки.*

При исследовании поперечных динамических сил воздействия подвижного состава на рельсы допустимое значение поперечной динамической силы, определяется исходя из [1] и значение действия боковых сил в прямых и кривых участках пути не должно быть более 100 кН.

Для проведения поездок были сформированы опытные поезда: массой 6300 т, составленный из полувагонов с осевой нагрузкой 23,5 т, и 7100 т, составленный из полувагонов модели 12-196-01 на тележках 18-194-01 (постройки ОАО «НПК «Уралвагонзавод») и полувагонов модели 12-9853 на тележках модели 18-9855 (постройки ЗАО «ТВСЗ»)

с осевой нагрузкой 25 тонн. Опытные поездки для измерения сил взаимодействия колеса с рельсом проводились на участке Карымская – Сквородино Забайкальской железной дороги.

Тензометрическая колесная пара для измерения поперечных динамических сил, действующих от колеса на рельс, была оборудована 4-точечными измерительными схемами. За один оборот колеса проводились 4 точечных измерения каждой из сил по двум рельсовым нитям, то есть через каждые 0,75 м по протяженности пути.



**Рис. 1.** Общий вид тензометрической колесной пары

Измерения поперечных динамических сил, передающихся от грузового вагона на путь [2], проводились с помощью тензометрической колесной пары, установленной на место первой оси первой по ходу движения тележки. Тензометрическая колесная пара под полувагоном приведена на рис. 1.

На рис. 2 приведен 4-х-канальный тензометрический усилитель, размещенный на оси колесной пары, для преобразования механических деформаций диска колеса в электрический сигнал.

Конструкция узла крепления токосъемного устройства для подачи питания измерительных схем, тензометрического усилителя и съема сигналов сил с вращающейся колесной пары приведена на рис. 3.



**Рис. 2.** Размещение тензометрического усилителя на оси колесной пары





**Рис. 3.** Размещение токосъемного устройства на буксе колесной пары

В Таблице приведены результаты, проведенных измерений поперечных динамических сил воздействия подвижного состава на рельсы наружной и внутренней нитей второго пути участка Карымская–Сковородино.

*Таблица*

**Результаты измерений поперечных динамических сил воздействия подвижного состава на рельсы**

| Характеристики<br>плана линии        | Значение поперечной динамической силы, кН |           | Допускаемое значение попереч-<br>ной динамической силы, кН |
|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|
|                                      | при весе поезда, т                        |           |                                                            |
|                                      | 6300                                      | 7100      |                                                            |
| Прямые и кривые<br>радиусом до 400 м | менее 100                                 | менее 100 | 100                                                        |
| Кривые радиусом<br>399–300 м         | 91,2                                      | 93,5      |                                                            |
| Кривые радиусом<br>299 м и менее     | 98,2                                      | 101,2     |                                                            |

**Закключение.** По результатам проведения опытных испытаний для измерений боковых сил в поездах массой 6300 и 7100 т, можно сделать следующий вывод:

- в кривых с радиусами 400 м и более, максимальные значения боковых сил не превышают допускаемой величины 100 кН вне зависимости от массы поезда и режима его движения.
- в кривых с радиусами 300–399 м максимальная боковая сила зарегистрирована на уровне 91,2 кН в поезде массой 6300 т и на уровне 93,5 кН в поезде массой 7100 т;



- в кривых с радиусами менее 300 м максимальная боковая сила зарегистрирована на уровне 98,2 кН в поезде массой 6300 т и на уровне 101,2 кН в поезде массой 7100 т;
- по результатам испытаний не выявлена существенная разница в боковом воздействии на путь поездов массой 6300 и 7100 т;
- поезда массой 7100 т могут быть допущены в опытную эксплуатацию, в процессе которой можно будет оценить влияние введения новой унифицированной массы на расходы по текущему содержанию пути.

*Библиографический список*

1. ГОСТ34759-2021. Межгосударственный стандарт. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний Railway rolling stock. Normative limits of railway track interaction and test methods МКС 45.060. – Текст : непосредственный.
2. Динамика вагона : учебник для вузов железнодорожного транспорта / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, И. И. Челноков ; под редакцией С. В. Вершинского. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва : Транспорт, 1978. – 352 с. – Текст : непосредственный.
3. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р]. – URL : <https://rosacademtrans.ru/wp-content/uploads/2021/10/> (дата обращения: 01.11.2024). – Текст : электронный.

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

**Е. В. Артамонова, Т. Н. Асалханова**

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

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПУТЕВОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ИСПРАВЛЕНИЮ ПРОСАДОК И ПЕРЕКОСОВ ПУТИ**

*В статье представлены исследования процессов совершенствования путевого инструмента для выполнения работ по исправлению просядок и перекосов железнодорожного пути. Одним из основных инструментов для исправления просядок и перекосов пути в дистанциях пути для уплотнения балласта под шпалами является электрошпалоподбойка (ЭШП-9). К преимуществам ЭШП-9 можно отнести: небольшие габариты; невысокая стоимость; надёжность. Но имеются и недостатки: зависимость от источника электроэнергии; значительная масса инструмента; вибрация, которая отражается на здоровье монтеров пути, а также возможность поражения электрическим током, если некачественно заземлена электростанция. Поэтому предлагаем рассмотреть варианты модернизации шпалоподбойки.*

*Ключевые слова: железнодорожный путь, исправление просядок и перекосов, путевой инструмент, шпалоподбойка.*

Согласно нормативным документам ОАО «РЖД» работы по текущему содержанию верхнего строения пути выполняются на основе планирования, которое разрабатывается каждой дистанцией пути и утверждается региональной службой пути [1–3].

Самый сложный период эксплуатации рельсового хозяйства – это выход из зимнего периода, т.к. при наступлении положительных температур воздуха начинается интенсивное оттаивание балластной призмы. Основная часть путевых работ приходится на исправление просядок и перекосов пути путем уплотнения балласта под шпалой с использованием шпалоподбойки.

Электрическая шпалоподбойка (ЭШП-9) применяется при выправке железнодорожного пути с целью технической механизации и облегчения

трудоемких работ при устранении толчков, перекосов, просадок и других дефектов железнодорожного полотна [4]. Источником электричества для питания инструмента можно служить как централизованное электроснабжение, так и мобильная электростанция.

ЭШП-9 имеет габариты – 1200x200x575 мм и вес – 18,5 кг. Вес и габариты инструмента позволяют доставлять его на место производства работ на автомобиле, выполнять работы в перерывы между движением подвижного состава, быстро убирать при приближении поезда.

При всех имеющихся преимуществах применения ЭШП-9 при производстве работ по исправлению просадок и перекосов существуют и несовершенства данного инструмента – это необходимость использовать источники электроэнергии, т.е. укомплектовывать инструмент дополнительно электростанцией; неоднократное воспроизведение операций при подбивке полотна усложняет работу с инструментом; конструкция шпалоподбойки предполагает расположение амортизатора между рукоятью и вибратором; необходимость заземления электростанции. Длительная работа с данным инструментом может оказывать негативное воздействие на организм монтера пути и является трудоёмкой. Уплотнение балласта производится благодаря вибрации корпуса ЭШП, которая передается на подбивочное полотно. При этом, монтер пути, который работает с инструментом подвергается также значительным вибрациям, что при длительном воздействии на организм человека может приводить к профессиональным заболеваниям.

В связи с наличием некоторых недостатков данного инструмента предлагаем рассмотреть некоторые варианты модернизации шпалоподбойки. Например, варианты модернизации ЭШП предлагаются А. А. Шубиным, В. В. Фадеевым, А. Е. Смолеником [6]. Данными учеными предложено усовершенствование инструмента за счет замены плоского подбивочного полотна на клиновой подбойник, что позволит повысить производительность труда и снизить вредное воздействие вибрации на монтеров пути (рис. 1).

Работу инструмента с клиновым подбойником вышеуказанные авторы смоделировали в программе SolidWorks. При проведении экспериментов работы клинового подбойника выявлено, что происходит увеличение значения вынуждающей силы почти на 30 %; возможно производить подбивку балласта под две шпалы одновременно, тем самым сокращается время на выполнение техпроцесса; подбивочный клин погружается в балласт вертикально; равномерная подбивка балласта производится за счет скомпенсированных сил подбивки; дебаланс установлен внутри подбойника, позволяет лучше уплотнять место подбивки и по-

вышает результативность работы инструмента и значительно снизить величину вибрации.

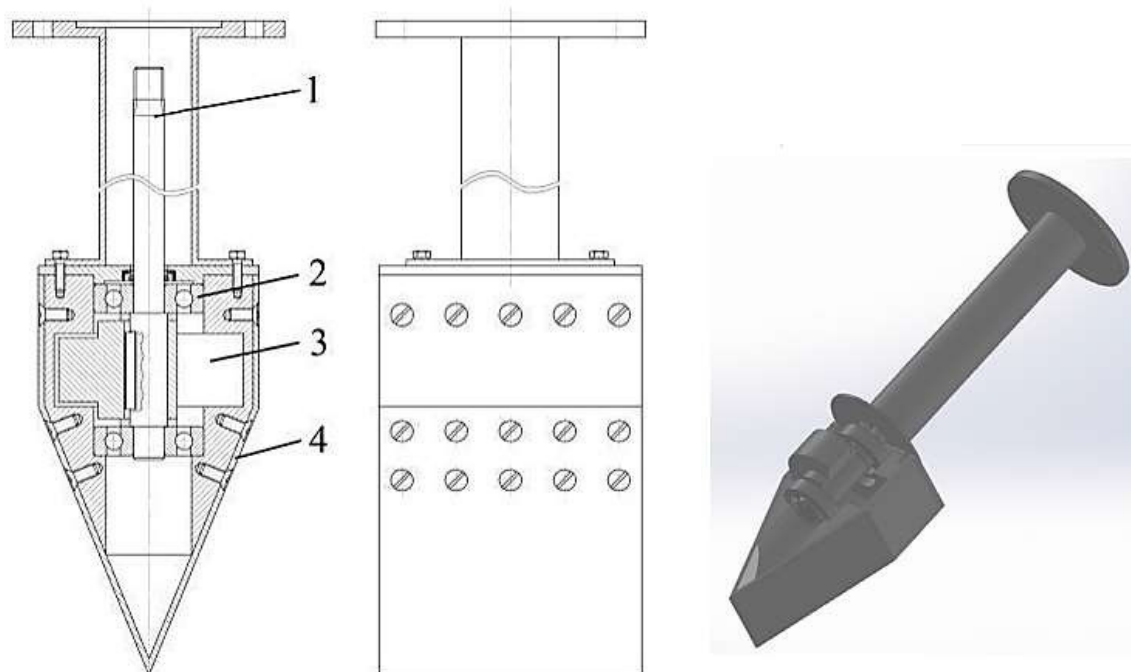


**Рис. 1.** Клиновое подбойное устройство: 1 – вал; 2 – подшипник; 3 – дебаланс; 4 – корпус

Компанией «Желдормеханика» предложен второй вариант инструмента – бензиновая шпалоподбойка (БШП). Основное преимущество БШП – маневренность при работе с инструментом. На электродвигатель установлена центробежная муфта, которая дает возможность не передавать крутящего момента при низкой частоте вращения вала двигателя, что особенно важно при переходе от одной шпалы к другой, т.к. при повышении частоты вращения муфта не позволяет остановиться двигателю. Муфта отключается после отпуска ручки управления дроссельной заслонкой, тем самым устраняется вибрация шпалоподбойки и снижается негативное влияние на монтера пути [8].

В настоящее время на электрошпалоподбойки ЭШП-9 устанавливается электродвигатель с короткозамкнутым ротором, который должен работать от сети переменного тока, что создаёт существенные ограничения при передислоцировании инструмента. Также следует отметить, что подготовка, установка генератора и подключение кабелей требуют дополнительных усилий со стороны работников при запуске дизельного или бензинового генератора. Монтеры пути проводят аналогичные операции при смене участков. Кроме того, в процесс вовлекаются действия по заземлению переносного электрического инструмента, которые вы-

полняются с помощью отдельного проводника от корпуса электродвигателя или через четвертый провод четырехжильного кабеля. Основным риском при работе с электрическими шпалоподбойками является напряжение электропитания. Поскольку электродвигатели таких ЭШП являются трехфазными, а напряжение на электростанции составляет 400 В, в то время как для человека безопасным считается диапазон 12–36 В. Поэтому важно строго придерживаться норм электробезопасности при работе с этим оборудованием, что также представляет собой негативный аспект при использовании данного типа шпалоподбойки.

Рассмотрев вышеперечисленные вариации шпалоподбойки, учитывая как преимущества, так и недостатки использования и электрической, и бензиновой шпалоподбойки, на наш взгляд, можно модернизировать шпалоподбойку смешанным вариантом. Предлагаем добавить к бензиновой шпалоподбойке клиновой подбойник с гибким валом. Вариант такой шпалоподбойки представлен на рис. 2.

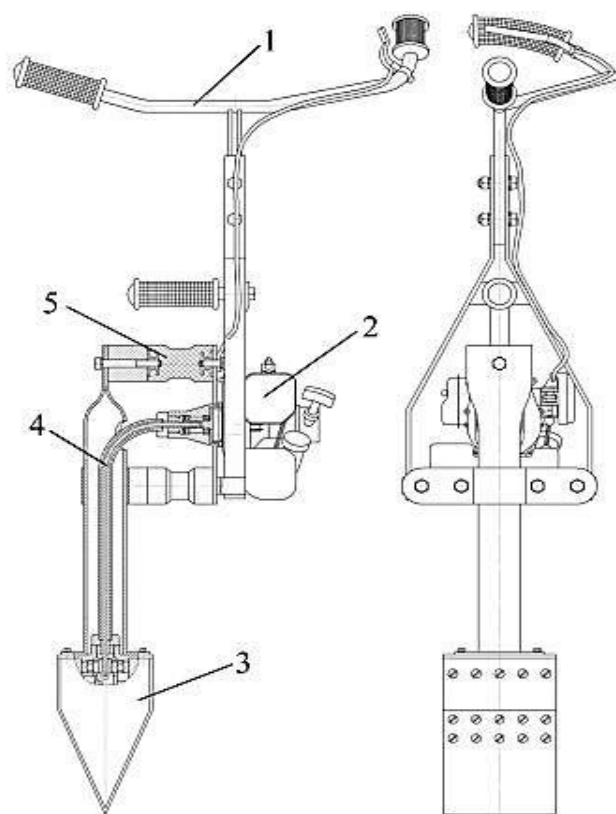


**Рис. 2.** Бензиновая шпалоподбойка с клиновым подбойником и гибким валом: 1 – ручка; 2 – бензиновый двигатель; 3 – клиновой подбойник; 4 – гибкий вал; 5 – амортизатор

Также модернизация инструмента может затронуть компонент соединения клинового подбойника (амортизатора) шпалоподбойки. Для этого потребуется установка упругого резинометаллического элемента, представляющего собой резиновую втулку, обрамленную с обеих сторон металлическими втулками со шлицевыми пазами.

Монтаж бензинового двигателя с максимальной частотой вращения до 4000 об/мин упрощает конструкцию и снижает стоимость производства инструмента. Поскольку оси вращения вала двигателя и дебалансного вала расположены под углом 90 градусов, гибкий вал будет использоваться для передачи крутящего момента. Это позволит компенсировать смещение клино-

вого подбойника относительно двигателя, которое возникает в результате вибрации дебаланса.

Таким образом, предполагаем, что использование БШП с клиновым подбойником при производстве работ позволит снизить нагрузку на монтеров пути, обеспечит их безопасность, сократится время на выполнение технологических процессов и подготовительно-заключительные операции, повысится эффективность уплотнения балласта за счет использования дебаланса в подбойнике, понизится вибрационная нагрузка на работников, независимость от источников электропитания повысит маневренность работников.

Несмотря на преимущества предлагаемого варианта шпалоподбойки, считаем, что недостатком данной шпалоподбойки является использование гибкого вала, также клиновый подбойник представляет из себя сложную конструкцию, так как выполнен в едином корпусе с дебалансом, поэтому рабочий орган имеет большие габариты.

В данное время начато серийное производство БШП-1, но пока этот инструмент массово не внедряется на дистанциях пути.

Основные параметры и размеры шпалоподбойки БШП-1 приведены в Таблице.

*Таблица*

**Основные параметры и размеры шпалоподбойки БШП-1**

| №<br>п/п | Наименование показателей назначения                                            | Значение показателя |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1        | Тип двигателя                                                                  | ДВС Хонда GX50      |
| 2        | Мощность двигателя, кВт                                                        | 1,47                |
| 3        | Частота вибрации на рабочем органе, Гц                                         | 100–140             |
| 4        | Уровень звука, дБ(А), не более                                                 | 96,9                |
| 5        | Емкость бака, л                                                                | 0,6                 |
| 6        | Габаритные размеры, мм                                                         | 1050х350х300        |
| 7        | Масса, кг                                                                      | 14                  |
| 8        | Минимальный нормативный срок наработки<br>(до капитального ремонта), моточасов | 3000*               |
| 9        | Срок службы, лет                                                               | 8                   |

**Примечание.** \*подбойник из закаленной стали обеспечивает эффективную работу в течение 300 часов (реальный срок службы зависит от условий работы).

Замена плоского подбивочного полотна на клиновый подбойник к выпускаемой модели БШП-1, позволит эффективнее использовать данный инструмент при выполнении технологических процессов по исправлению просядок и перекосов [5–7].



На рис. 3 представлен общий вид БШП-1 с клиновым подбойником.

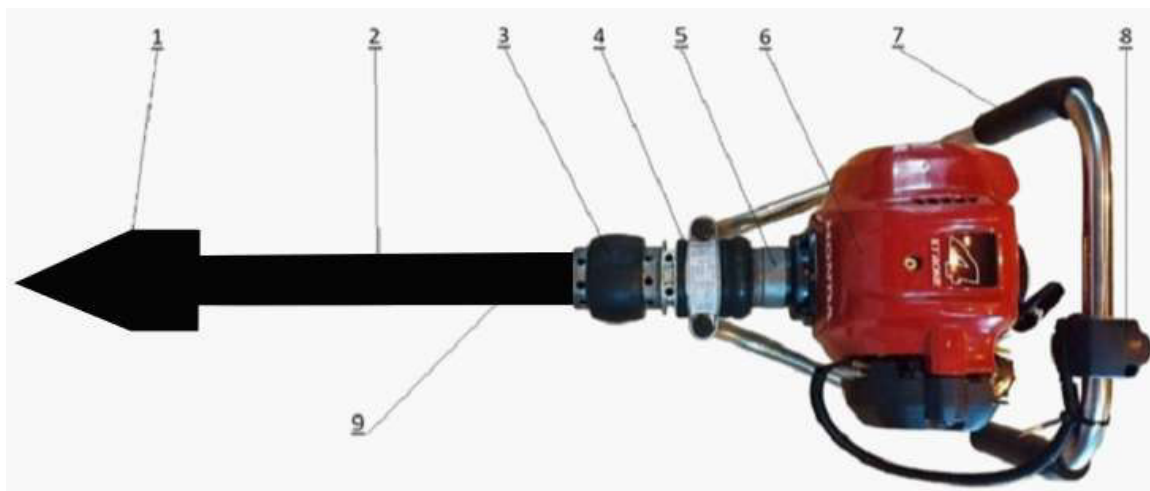


**Рис. 3.** Общий вид БШП-1: 1 – клиновым подбойник; 2 – подбойка в сборе; 3 – нижний амортизатор в сборе; 4 – верхний амортизатор в сборе; 5 – узел сцепления; 6 – двигатель Хонда GX50; 7 – антивибрационные рукоятки; 8 – блок управления; 9 – пробка смазки подбойки

Особенности БШП-1: декомпрессионный клапан и система зажигания обеспечивают легкий запуск двигателя при любых погодных условиях; компактная и прочная конструкция шпалоподбойки не допускает повреждения балласта (измельчения щебня, возникновения микротрещин, преждевременного износа его кромок); вес шпалоподбойки с ДВС минимизирован, но это не мешает погружаться в балласт посредством собственного веса, без усилий со стороны монтажника пути; ударные рабочие органы БШП обладают пониженным уровнем вибрации и шума; клиновым подбойник позволяет сократить время на подбивку шпал на 30 % [8-9].

БШП по сравнению с ЭШП имеет ряд преимуществ:

- размещение дебаланса непосредственно у зоны уплотнения балласта позволяет повысить качество уплотнения, снизить затрачиваемую мощность и вибрацию, передаваемую на ручки шпалоподбойки;
- мобильность за счет оснащения ее бензиновым двигателем внутреннего сгорания, что позволяет отказаться от дополнительного источника электроэнергии, соединительных проводов и повышает безопасность работы;
- данная конструкция позволяет снизить вес инструмента и регулировать частоту колебаний в зависимости от материала балласта и его уплотнения.

Таким образом, можно сказать, что, несмотря на некоторые недостатки, использование бензиновой шпалоподбойки с клиновым подбойником может привести к повышению производительности труда монтеров пути при производстве работ, существенно снизит физические нагрузки на рабочих и обеспечит безопасность работ с данным инструментом.

### *Библиографический список*

1. Об утверждении Положения об организации комплексного обслуживания объектов инфраструктуры хозяйства пути и сооружений [утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 29.11.2019 г. № 2675/р (ред. 13.12.2023 г. № 3167/р)]. – Текст : непосредственный.
2. Об утверждении и введении в действие инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути [утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288/р (ред. 02.11.2022 г.)]. – Текст : непосредственный.
3. Об утверждении правил назначения ремонтов железнодорожного пути [утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 12.12.2021 г. № 2888/р]. – Текст : непосредственный.
4. Электрошпалоподбойка ЭШП, назначение, принцип работы. – URL : <https://rzd-puteetz.ru/elektroshpalopodbojka-eshp-naznachenie-princip-raboty> (дата обращения 10.10.2024). – Текст : электронный.
5. Об утверждении норм времени на работы по текущему содержанию пути [утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 22.12.2017 г. № 2707/р]. – Текст : непосредственный.
6. Шубин, А. А. Совершенствование конструкции вибрационной шпалоподбойки / А. А. Шубин, В. В. Фадеев, А. Е. Смоловик. – Текст : непосредственный // Мир транспорта. – 2015. – № 6 (61). – С. 78–87.
7. Шубин, А. А. Повышение эффективности работы вибрационной шпалоподбойки / А. А. Шубин, П. В. Витчук, В. В. Фадеев // Научный альманах. – Тамбов : Издательство ООО «Консалтинговая компания Юком». – ISSN 2411-7609. – URL : <http://ucom.ru/doc/na.2015.11.03.462> (дата обращения: 08.09.2024). – Текст : электронный.
8. Шубин, А. А. Анализ вариантов модернизации шпалоподбойки / А. А. Шубин, П. В. Витчук, А. В. Федоров // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. – 2015. – С. 385–388. – URL : <https://www.elibrary.ru/23692062> (дата обращения: 19.10.2024). – Текст : электронный.
9. Шубин, А. А. Конструкция мобильной шпалоподбойки / А. А. Шубин, П. В. Витчук, В. В. Фадеев. – Текст : непосредственный // Технические науки. – 2017. – № 5. – С. 168–173.

**А. О. Виглюш, В. П. Дуняшин**

*Нижегородский институт путей сообщения –  
филиал ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет  
путей сообщения»,  
г. Нижний Новгород, Россия*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ**

*В статье рассматриваются современные технологии автоматизации, используемые для обслуживания железнодорожных путей. Обсуждаются основные подходы к автоматизации процессов мониторинга состояния путей, диагностики и профилактического обслуживания, а также влияние этих технологий на безопасность и эффективность железнодорожного транспорта. Анализируются примеры успешной реализации автоматизированных систем в различных странах.*

*Ключевые слова: автоматизация, обслуживание, железнодорожные пути, мониторинг, диагностика, безопасность, информационные технологии.*

Железнодорожный транспорт играет ключевую роль в экономике большинства стран, обеспечивая перевозку грузов и пассажиров. Однако надежность и безопасность функционирования железнодорожной сети зависят от состояния путевой инфраструктуры. В последние годы наблюдается тенденция к внедрению автоматизации процессов, связанных с обслуживанием и ремонтом железнодорожных путей. Это обусловлено необходимостью повышения эффективности работы, снижения затрат и обеспечения безопасности.

Современные технологии, такие как Интернет вещей (IoT), большие данные и искусственный интеллект (AI), открывают новые горизонты для улучшения обслуживания железнодорожных путей. В данной статье рассматриваются методы и решения в области автоматизации, а также их влияние на эффективность эксплуатации железнодорожного транспорта.

Одной из основных составляющих автоматизации обслуживания железнодорожных путей являются системы мониторинга состояния путей. Эти системы включают в себя специальные датчики и устройства, которые позволяют в реальном времени отслеживать изменения в состоянии железнодорожной инфраструктуры. Например, системы встроенных датчиков могут контролировать уровень износа рельсов, состояние шпал и других элементов путевой инфраструктуры.

Внедрение автоматизированных систем мониторинга позволяет значительно сократить количество аварийных ситуаций. Примером успешного применения таких технологий является система "SMART Railway" в Германии, которая использует датчики и алгоритмы для анализа данных о состоянии путей и предсказания возможных повреждений.

Автоматизация диагностики также играет важную роль в обслуживании железнодорожных путей. Современные технологии, такие как машинное обучение и искусственный интеллект, позволяют обрабатывать большие объемы данных и выявлять скрытые проблемы до того, как они приведут к серьезным поломкам. Программное обеспечение для предсказательного анализа может оценивать состояние оборудования и рекомендовать необходимые меры по его обслуживанию [1].

В некоторых странах, таких как Япония, активно применяются беспилотные системы для выявления повреждений на железнодорожных путях. Такие системы могут применять технологии визуализации и ультразвукового контроля для выявления трещин и других дефектов.

Автоматизация обслуживания железнодорожных путей существенно влияет на безопасность и эффективность железнодорожного транспорта. Ниже приведены ключевые аспекты этого влияния:

- Мониторинг в реальном времени: Автоматизированные системы мониторинга позволяют постоянно отслеживать состояние железнодорожных путей. Использование сенсоров и устройств на основе Интернета вещей (IoT) способствует быстрому обнаружению потенциальных проблем, таких как деформации рельсов или утечки ballast, что позволяет избежать аварий.

- Системы предиктивного анализа: Применение больших данных и искусственного интеллекта для анализа информации о состоянии путей позволяет предсказывать вероятность возникновения неисправностей. Это дает возможность проводить профилактическое обслуживание до того, как проблема становится критической, тем самым снижая риск ДТП [2].

- Улучшение трассировки и сигнализации: Автоматизированные системы управления движением поездов обеспечивают более безопасное управление, улучшая траектории и уменьшая вероятность столкновений. Системы АСД (Автоматическая система диспетчерского управления) могут управлять движением поезда и оперативно изменять маршруты в случае аварийных ситуаций.

- Оптимизация ресурсов: автоматизация процессов обслуживания позволяет более рационально распределять трудозатраты и материалы. Системы управления позволяют заранее планировать техническое обслуживание на основе полученных данных, тем самым минимизируя

время простоя подвижного состава и увеличивая эффективность использования ресурсов.

- Скорость реагирования: В случае возникновения неисправности автоматизированные системы способны оперативно информировать диспетчеров и технические службы, что значительно сокращает время реакции и обеспечивает быстрое устранение проблем.

- Автоматизированная диагностика: Инструменты для автоматизированной диагностики способны выявлять дефекты, требующие внимания, с высокой точностью. Это позволяет проводить ремонтные работы более эффективно и с минимальным вмешательством в расписание движения поездов.

- Снижение эксплуатационных расходов: Эффективное использование автоматизированных технологий позволяет снизить затраты на персонал и обслуживание, что в свою очередь влияет на общую стоимость эксплуатации железнодорожных путей. Меньшее количество аварий и инцидентов также приводит к снижению затрат на компенсацию и восстановление.

- Увеличение пропускной способности: Совершенствование процессов управления движением и обслуживания путей позволяет повысить пропускную способность линий, что способствует улучшению логистики и дает возможность обслуживать большее количество клиентов за короткий срок [3].

Обслуживание железнодорожных путей включает в себя регулярные проверки, диагностику, а также плановый и внеплановый ремонт. Традиционные методы обслуживания часто основаны на визуальных осмотрах и интуитивных решениях, что увеличивает вероятность ошибок и, как следствие, неосторожных ситуаций на железной дороге.

Одной из ключевых проблем является необходимость в быстрой реакции на изменения состояния путей. Это требует значительных временных и человеческих ресурсов. Поэтому автоматизация процессов становится особенно актуальной.

В мире существует множество примеров успешного внедрения автоматизированных систем обслуживания железнодорожных путей. Например, в Японии активно используются высокотехнологичные системы мониторинга, которые позволяют поддерживать высокие стандарты безопасности и надежности. В Европе также наблюдается рост интереса к подобным технологиям, что способствует улучшению качества обслуживания.

Автоматизация обслуживания железнодорожных путей является ключевым направлением, способствующим повышению эффективности



и безопасности работы железнодорожного транспорта. В условиях современной экономики, где время – это деньги, а безопасность – первоочередная задача, внедрение новых технологий становится неотъемлемой частью стратегии развития отрасли.

Использование систем мониторинга, Интернет вещей, больших данных и искусственного интеллекта позволяет существенно улучшить качество обслуживания путевой инфраструктуры, снизить вероятность аварийных ситуаций и оптимизировать процессы технического обслуживания. Эти технологии не только способствуют более раннему выявлению потенциальных проблем, но и помогают выстраивать проактивный подход к управлению состоянием железнодорожных путей.

Примеры успешного применения автоматизированных систем в разных странах демонстрируют значительное сокращение времени реагирования на возможные угрозы и улучшение общей надежности транспортной сети. Более того, автоматизация обслуживания путей способствует уменьшению эксплуатационных затрат, позволяя операторам перераспределять ресурсы на более важные участки работы [4].

Таким образом, можно утверждать, что будущее железнодорожного транспорта неизменно связано с внедрением инновационных технологий автоматизации. Стремление к повышению надежности, безопасности и эффективности обслуживания путей станет основой для дальнейшего развития железнодорожной отрасли, а также обеспечит высокую конкурентоспособность в условиях глобального рынка. Важно продолжать исследования и разработки в этой области, чтобы оставаться на шаг впереди и удовлетворять растущие требования к инфраструктуре железнодорожного транспорта.

#### *Библиографический список*

1. Железнодорожная автоматика. – URL : <https://www.metalltm.ru/spravochnik/zheleznodorozhnaya-avtomatika> (дата обращения: 01.10.2024). – Текст : электронный.

2. Что такое искусственный интеллект? Применение машинного обучения. – URL : [https://www.nic.ru/help/chto-takoe-iskusstvennyj-intellekt-primenenie-mashinnogo-obucheniya\\_11605.html](https://www.nic.ru/help/chto-takoe-iskusstvennyj-intellekt-primenenie-mashinnogo-obucheniya_11605.html) (дата обращения: 01.10.2024). – Текст : электронный.

3. Сокращение расходов при повышении производительности: руководство по техническому обслуживанию в промышленности. – URL : <https://www.fujielectric.fr/ru/%D0%B1%D0%BB%D0%BE%D0%B3/reduire-les-couts-tout-en-ameliorant-la-performance-le-guide-de-la-maintenance-industrielle/> (дата обращения: 01.10.2024). – Текст : электронный.



4. 17 решений для автоматизации железной дороги. – URL : <https://teko-com.ru/po-otrasljam/avtomatizatsija-v-zheleznodorozhnoj-otrasli/zheleznodorozhnaja-otrasl.html> (дата обращения: 01.10.2024). – Текст : электронный.

**К. В. Волошина**

*Байкало-Амурский институт железнодорожного транспорта –  
филиал ДВГУПС,  
г. Тында, Россия*

### **ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ТОННЕЛЕЙ**

*Железнодорожные тоннели относятся к числу важнейших искусственных сооружений и строятся для преодоления горных массивов, высоких русел, склонов, оползневых участков, обрывов и достаточно мощных водных преград. Все искусственные сооружения должны находиться под систематическим наблюдением в течение всего периода их эксплуатации. Технические условия должны обеспечивать безопасное и бесперебойное движение поездов с установленной скоростью. Кроме того, обслуживание всех конструкций должно обеспечивать их максимальную долговечность.*

*Ключевые слова: тоннель, порталные ворота, топливный режим, водоотводные лотки, вентиляция.*

Северомуйский тоннель – весьма сложное сооружение, требующее систематического надзора за работой всех его технологических систем. Для реализации этих требований в тоннеле был применен ряд технологических решений, не имеющих аналогов в системе ОАО «РЖД».

Основной такой системой является Автоматизированная система управления технологическими процессами Северомуйского тоннеля, позволяющая с полной уверенностью контролировать весь технологический цикл работы тоннеля, от состояния инфраструктуры и микроклимата, до движения поездов на каждом участке тоннеля. На основании полученных данных принимается экспертное решение по оптимальному использованию режимов работы оборудования.

Для снижения возможных негативных последствий и осуществления надзора за неуправляемыми процессами в тоннеле организован пост сейсмического контроля. В качестве контролирующего механизма используется Регистратор сейсмических сигналов.

В Северомуйском тоннеле установлена система пожарной сигнализации «ОрионПро». Слежение за сигналами пожарных зон производит оператор АСУТП ПЧ-24.

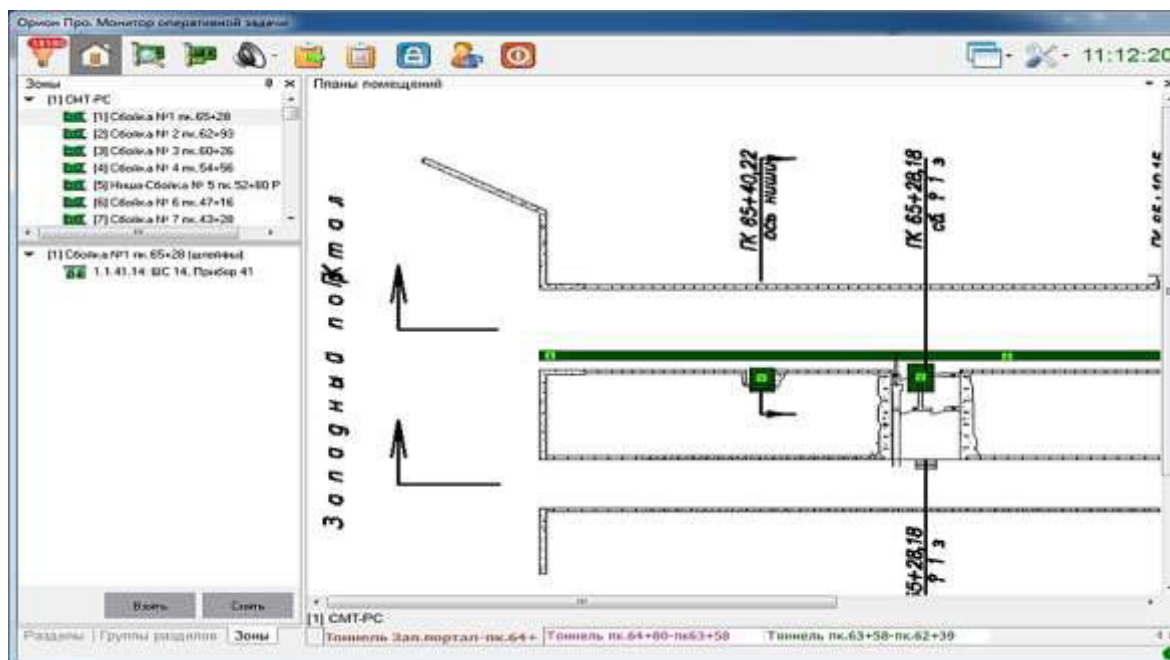


**Рисунок.** «Орион Про» – монитор оперативной задачи

Интегрированная система пожарной сигнализации «Орион» – это комплекс, представляющий возможность контроля и управления системами пожарной сигнализации.

Система предназначена для оповещения о возникновении пожара на объекте путём контроля состояния зон, которые представлены пожарными извещателями.

Принцип работы основан на увеличении объёма газа внутри сенсорной трубки (обычный воздух). При повышении температуры воздуха в зоне 10–120 метров вдоль трубки происходит её нагрев, давление газа внутри трубки растёт и при превышении установленных норм происходит выдача тревожного сообщения «Тревога пожарного ШС». Локальный нагрев (светильник, зажигалка и т.п.), незначительные колебания температуры от прохода поезда обрабатываются микропроцессором и игнорируются.

Установленный в помещении пульт контроля и управления осуществляет общее управление системой, контроль состояния контроллеров и подключенных к каждому из них зон, бор информации о состоянии каждого контроллера и выдачу информации в АРМ.

На персональный компьютер установлено программное обеспечение «ОрионПро», предназначенное для наглядного отображения состояния пожарных зон, управления зонами, сохранения протоколов событий системы.

Основным принципом содержания является предупреждение появления неисправностей и повреждений в сооружениях.

За всеми искусственными сооружениями на протяжении всего периода их эксплуатации должен производиться систематический надзор.

Осмотры, осуществляемые обходчиками пути и искусственных сооружений.

Периодичность осмотров искусственных сооружений, находящихся на балансе дистанции, осуществляемых силами обходчиков пути и ИССО, устанавливается приказом начальника дистанции пути в зависимости от состояния сооружений и наличия влияющих на них вредных факторов.

При проведении осмотров особое внимание необходимо обращать на слабые элементы сооружений:

- состоянию обделки;
- состоянию дренажных устройств;
- состоянию ВСП на ИССО и на подходах к ним;
- состоянию откосов подходных;
- состоянию систем пожаротушения, противопожарного инвентаря;
- соблюдение теплового режима
- текущие осмотры.

Капитальный ремонт искусственных сооружений выполняется по технологическим правилам (процессам) или проектам. Ремонт искусственных сооружений должен производиться при обеспечении безопасности движения поездов и, как правило, без нарушения графика их движения.

Для производства больших по объёму и сложных работ в планах работ должны предусматриваться «окна», как правило, в светлое время суток, и выдаваться предупреждения.

Самым опасным для движения дефектом в тоннеле на сегодняшний день являются отрясенные блоки и отрясенные шпалы путевого бетона.

«Отрясённые» блоки характеризуются вертикальными перемещениями путевого бетона со шпалами, рельсовыми скреплениями и участком пути под действием поездной нагрузки, как правило, приуроченных к деформационному шву или холодному технологическому шву путевого бетона. Перемещение («отрясение») возможно как с просадкой участка пути, так и без просадки.

Внешними проявлениями «отрясения» блоков является:

- наличие трещин между путевым бетоном и бетоном водоотводного лотка с выплесками воды, продуктов истирания бетона и его составляющих;
- местное повышение уровня воды в дренажном лотке при движении поезда за счет «выдавливания» воды из-под блока. Длина трещин косвенным образом указывает на протяженность «отрясенных» блоков.

Причинами образования отрясенных блоков являются:

- поездная нагрузка в условиях избыточной жесткости конструкции пути по сравнению с типовой конструкцией пути за счет замены балластного слоя на монолитный бетон;
- недостаточная изученность влияния на работу конструкций тоннеля и ВСП сложных геодинамических воздействий;
- невыполнение проектных решений в части укладки вместо прокладок повышенной упругости обычных прокладок КБ-65;
- технология по углублению водопропускных лотков

Выполнения данных мероприятий позволит исключить фильтрацию вод, поступающую из водопритоков в контактную зону и сделает невозможным вымывание продуктов истирания бетона, образование пустот и просадки ВСП.

Углубление водопропускных лотков на участках без усиления бетона обратного свода показан на схеме.

**Заключение.** Качественно организованный надзор за техническим состоянием тоннелей, системный анализ причин и последствий выявленных дефектов и отказов являются залогом выбора своевременных и адекватных ремонтных мероприятий.

#### *Библиографический список*

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.02.2020 г. № 436р «Об утверждении Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения поездов». – Текст : непосредственный.
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 09.01.2018 № 5р «Инструкции по охране труда для монтажника пути ОАО «РЖД» ИОТ РЖД-4100612-ЦП-035-2017». – Текст : непосредственный.
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р «Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (с изменениями согл. распоряжения № 1227р от 08.06.2020 г.)». – Текст : непосредственный.

4. Правила и технологии выполнения основных работ при текущем содержании пути. ЦДИ-1511 от 30.11.2018 / Р. В. Шаньгин. – Текст : непосредственный.

5. Абраров, Р. Г. Реконструкция железнодорожного пути : учебное пособие / Р. Г. Абраров, Н. В. Добрынина. – Москва : ФГБУ ДПО «УМЦ ЖДТ», 2018. – 692 с. – URL : <http://umczdt.ru/books/937/230297/> – Текст : электронный.

**Р. В. Волчек, А. А. Азеев**

*Институт нефти и газа Сибирского федерального университета,  
г. Красноярск, Россия*

**В. С. Томилов**

*Красноярский институт железнодорожного транспорта,  
г. Красноярск, Россия*

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БАЛЛАСТА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

*Развитие Арктической зоны на сегодняшний день является одной из приоритетных стратегических задач как крупнейшего холдинга ОАО «РЖД», так и нашей страны в целом. Освоение данного региона напрямую зависит от успешной реализации мероприятий, направленных на предотвращение проблем, связанных с нарушением стабильной эксплуатации транспортной системы, расположенной на территориях вечной мерзлоты. В статье рассмотрены основные причины разрушения железнодорожных путей в Арктической зоне, проанализированы методы их устранения, а также отмечены их существующие недостатки. Предлагается новый способ термостабилизации мёрзлых грунтов, позволяющий обеспечить стабильное поддержание температурного режима железнодорожного балласта, предотвратив его растепление и деформацию.*

*Ключевые слова: Арктическая зона, железнодорожный путь, растепление многолетнемерзлых грунтов, образование просадок, деформация полотна.*

Более 60 % территории Российской Федерации находится в Арктических регионах, что подтверждает актуальность поиска эффективных мероприятий, учитывающих влияние многолетнемерзлых грунтов (ММГ). В настоящее время наблюдается тенденция роста объемов грузоперевозок



зок в стране, что требует повышения пропускной способности железнодорожной сети. В 2022 году на заседании совета по стратегическому развитию и национальным проектам Арктики президент Российской Федерации поставил задачу организовать строительство Северного широтного хода, что позволит разгрузить Транссибирскую и Байкало-Амурскую магистрали [1]. В связи с этим развитие железнодорожной занятости в Арктической зоне является актуальным как для ОАО «РЖД», так и для нашей страны в целом.

В настоящее время в Криолитозоне эксплуатируется более 3200 километров железных дорог, включая как пути общего пользования – 2400 километров, так и пути, необщего пользования – 770 километров. На железных дорогах в зонах вечной мерзлоты зачастую встречается деформация железнодорожного полотна вследствие высоких напряжений в сварных стыках рельс, которые возникают из-за температурных напряжений и динамических нагрузок от подвижного состава, а также инженерно-геокриологических процессов и явлений.

Проблемы, с которыми сталкиваются железные дороги, являются общими для всех транспортных магистралей, независимо от их срока службы.

Процесс растепления мерзлых грунтов обуславливается возникновением следующих осложнений:

- деформация железного полотна (Рисунок, а);
- образование просадок, односторонних и перекосных пучинных перепадов или впадин, происходящих вследствие образования термокарстов;
- снижение несущей способности опор инженерных сооружений (устройства электрификации, СЦБ и связи) (Рисунок, б).

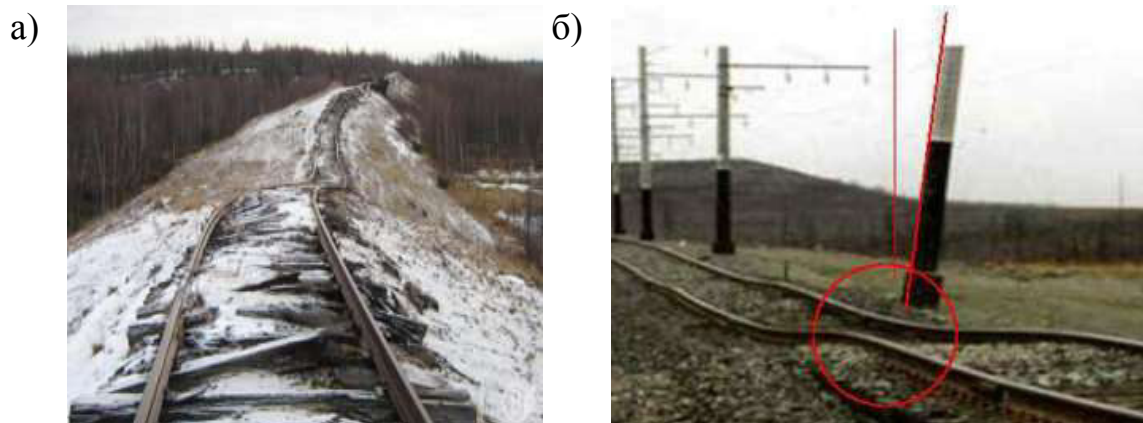


**Рисунок.** Осложнения, возникающие вследствие растепления ММГ под железнодорожными линиями: а) деформация железного полотна; б) деформация опор контактной сети



Это приводит к скоростным ограничениям грузовых и пассажирских локомотивов, ежегодным ремонтным затратам, направленные на выправку деформированных железного полотна, ликвидации просадок, расположенных на балластовой призме, что характеризуется огромными финансовыми расходами для железнодорожных организаций.

Процесс растепления мерзлых грунтов обусловлен несколькими факторами:

– климатические условия Арктической зоны. Хотя среднегодовая температура в этих регионах остается отрицательной, климат имеет циклический характер, это подтверждается данными экстремальных температур, полученных с метеостанций ВНИИГМИ, представленных в табл. 1 [1].

*Таблица 1*

**Годовой диапазон экстремальных температур  
по данным наблюдений метеостанцией ВНИИГМИ**

| Наименование метеостанции | $t_{min}$ | $t_{max}$ |
|---------------------------|-----------|-----------|
| Абакан                    | -45°      | +38,5°    |
| Ачинск                    | -44,8°    | +37°      |
| Богучаны                  | -53,3°    | +36,6°    |
| Красноярск                | -43,4°    | +36,4°    |
| Минусинск                 | -45,2°    | +39°      |
| Тайшет                    | -48,8°    | +36,9°    |
| Солянка                   | -48°      | +37,5°    |

Зимой мерзлые грунты стабильны, но с приходом весны начинается таяние снега, и солнечная энергия нагревает верхние слои почвы. Это приводит к растеплению верхнего слоя мерзлых грунтов, их текучести и, как следствие, образованию талика. В результате снижается прочность грунтов, они становятся текучими, что вызывает их проседание и образование впадин прямого и касательного характера [2].

– тенденция роста среднегодовых температур. Рост среднегодовых температур в Арктическом регионе, подтвержденный прогнозами Росгидромета, свидетельствует о глобальном потеплении [3]. Увеличение температуры как летом, так и зимой характеризуется более интенсивным таянием верхних слоев мерзлых грунтов и, как следствие, перемещением границы криолитозоны на север;

– увеличение атмосферных осадков. Растущая концентрация парниковых газов приводит к увеличению осадков, преимущественно в виде дождя, что ускоряет таяние мерзлых грунтов.

Предотвращение образования термокарстов под грунтовой подушкой железнодорожных путей, поскольку играет важную стратегическую

роль, обеспечивающую безопасность и стабильность транспортной сети [4]. Данные мероприятия возможны с использованием следующих способов:

- регулярное техническое обслуживание и ремонт. Этот метод является самым распространенным, включающим в себя проверки, замена деформированных элементов, устранение деформаций, выправка пути и засыпка термокарстовых просадок, а также превентивное оттаивание мерзлых грунтов с последующей их заменой, обеспечивающий долгосрочную стабильную эксплуатацию, поскольку мерзлые грунты могут снова образовываться в зимний период времени на участках транспортной сети [6]. В связи с этим, указанные мероприятия необходимо проводить несколько раз в год, что делает этот метод экономически нецелесообразным;
- мониторинг состояния мерзлых грунтов. Данный способ представляет собой постоянное наблюдение и прогнозирование температурного режима грунта, из которого состоит эксплуатируемый железнодорожный балласт. Регулярное отслеживание позволяет минимизировать риски, связанные с изменениями в геокриологических условиях. Наиболее эффективным подходом являются системы мониторинга состояния грунта от ООО «РУСГЕОТЕХ», а также АО «НПП Эталон», включающие в себя периодическое наблюдение, анализ и прогнозирование изменений температурного режима вдоль линейных объектов на основе данных, полученных с термометрических скважин. Это обеспечивает своевременное обнаружение нежелательных криогенных процессов и явлений. Однако данный способ позволяет лишь выявлять геокриологические проблемы, но не устранять их;
- термостабилизация мерзлых грунтов. Метод предполагает использование противодеформационных мероприятий, сохраняющих температурный режим ММГ, представленных в табл. 2 [5].

*Таблица 2*

**Сравнительная таблица противодеформационных мероприятий,  
направленных на термостабилизацию балластовой призмы  
железнодорожных линий**

| Метод                            | Описание                                                                             | Преимущества                                                                                                         | Недостатки                                                           |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Тепловая изоляция из пенопластов | Укладка теплоизоляционных плит под балласт для уменьшения глубины промерзания грунта | - снижение глубины промерзания;<br>- минимизация пучения и усадки грунтов;<br>- устойчивость к влаге и долговечность | - высокая стоимость материалов;<br>- возможные сложности при монтаже |

Окончание табл. 2

| Метод                                                       | Описание                                                                                                                                   | Преимущества                                                                                                                                 | Недостатки                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Устройство гидроизоляционного покрытия из полимерных пленок | Укладка рулонных битумно-полимерных материалов для защиты от воды и предотвращения увлажнения грунта                                       | - эффективная защита от воды;<br>- устойчивость к механическим повреждениям;<br>- долговечность и простота в обслуживании                    | - зависимость от условий укладки (температура, влажность);<br>- проблемы с адгезией к основанию;<br>- необходимость периодической проверки состояния                  |
| Каптаж источника грунтовых вод, устройство дренажа          | Создание систем для отвода грунтовых вод с помощью дренажных труб и каптажных сооружений для снижения уровня подземных вод                 | - снижение уровня грунтовых вод;<br>- предотвращение накопления влаги в грунте;<br>- улучшение условий для стабильности конструкций          | - высокие затраты на проектирование и установку;<br>- необходимость регулярного обслуживания системы дренажа                                                          |
| Одиночные сезонно действующие охлаждающие устройства (СОУ)  | Установка герметичных сварных конструкций, заправленных хладагентом, для охлаждения мерзлых грунтов под сооружениями в холодное время года | - эффективное охлаждение мерзлых грунтов;<br>- повышение несущей способности конструкций;<br>- быстрое реагирование на изменения температуры | - ограниченная эффективность только в холодный период года;<br>- высокие эксплуатационные затраты на поддержание системы;<br>- необходимость регулярного обслуживания |

За всю историю развития железнодорожной транспортной системы регионов ближнего и дальнего Севера человечеству так и не удалось разработать надежное решение для предотвращения таяния ММГ, возникающих в процессе эксплуатации железнодорожных путей, построенной традиционными методами.

В конце XX века наблюдается резкое потепление климата и таяния мерзлых грунтов, что подтверждается прогнозами Росгидромета. Уже к 2030 году среднегодовая температура в криолитозоне России увеличится на 2,1 °С. Это изменение окажет значительное влияние на климатические условия, особенно в Арктической зоне, где впоследствии будет ожидать еще более интенсивное растепление грунтов. Данное потепление связано с глобальными климатическими изменениями, которые в последние десятилетия приобрели стремительный характер, и приве-

дет к серьезным последствиям для экосистем и инфраструктуры. В частности, что негативно скажется на стабильности транспортных магистралей. В условиях растущего потепления необходимо разработать эффективные методы для сохранения несущей способности грунтов и обеспечения долговременной эксплуатации железнодорожных путей в криолитозоне.

Предлагается использовать технологию стабилизации грунтов, связанную с созданием системы термостабилизации, в которой обеспечивается управление фазовым равновесием хладагента, в качестве которого предлагается использовать газовый гидрат [7].

Газовый гидрат, также известный как клатрат, представляет собой нестехиометрическое соединение, имеющее кристаллическую решетку, в узлах которой расположены молекулы воды, а в пустотах – газ [8]. Это вещество может находиться в твердом состоянии только при определенных термобарических условиях. Однако при изменении этих условий клатрат не распадается, а переходит в состояние самоконсервации, что позволяет ему оставаться в твердой фазе даже при нарушении равновесных условий. Эти уникальные свойства играют ключевую роль в разработке новых методов поддержания прочности мерзлых грунтов.

Разрабатываемая авторами статьи технология предполагает установку системы, включающей трубы с диаметром 88,9 мм, расположенные под балластной призмой железнодорожного пути. Установка труб осуществляется **ударно-вибрационно-вдавливающим проколом, который предполагает** создание отверстия в грунте путём вдавливания в него штанги со специальным заострённым наконечником. В отличие от традиционных подходов, при которых грунт выкапывается в необходимом месте, данный способ предполагает «прокалывание» грунта.

Процесс термостабилизации начинается путем нагнетания в охлаждающие трубы специального химического реагента, содержащей молекулы воды и газа. Далее нагнетаемая жидкость под определенными термобарическими условиями преобразуется в твердое состояние, образуя газовый гидрат. В результате процесса теплообмена в термодинамической системе «газовый гидрат-труба-грунт» происходит его стабилизация, что обеспечит поддержание температуры мерзлых грунтов на определенном уровне и предотвратит их оттаивание и деформацию.

Самым главным преимуществом разрабатываемого метода является то, что в случае нарушения термобарических параметров клатраты не диссоциируются, поскольку будет происходить переход гидрата в состояние самоконсервации, поддерживая отрицательную температуру [8].

Сравнивая данное решение с аналогами, можно отметить следующее. Предлагаемая технология способна обеспечить длительный ресурс охлаждающей системы под балластом эксплуатируемого участка железнодорожного пути. Это позволит минимизировать ремонтные работы за счет сохранения несущей способности грунтов на долговременную эксплуатацию железнодорожных путей, снять скоростные ограничения за счет сокращения срочных ремонтов железнодорожных путей и, как следствие, увеличить пропускную способность железных дорог.

*Библиографический список*

1. Науменко, Д. А. Анализ наибольших и наименьших температур рельса, наблюдавшихся на Красноярской железной дороге / Д. А. Науменко, П. В. Новиков. – Текст : непосредственный // Цифровизация транспорта и образования : материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 125-летию железнодорожного образования в Сибири, Красноярск, 09–11 октября 2019 года. – Красноярск : Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», 2019. – С. 394–398.
2. Стрижков, С. Н. Снижение техногенного воздействия зданий и сооружений на грунтовые основания и их геомониторинг в криолитозоне / С. Н. Стрижков. – Текст : непосредственный // Труды ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве». 2013. – С. 8–12.
3. Маслов, А. Д. Основы геокриологии : учебное пособие / А. Д. Маслов, Г. Г. Осадчая, Н. В. Тумель, Н. А. Шполянская. – Ухта : Институт управления, информации и бизнеса, 2005. – 176 с. – Текст : непосредственный
4. Инженерная защита : научно-практический журнал / «Вечная» проблема железных дорог на вечной мерзлоте. – URL : <https://territoryengineering.ru/bez-rubriki/vechnaya-problema-zheleznih-dorog-na-vechnoj-merzlote/> (дата обращения: 23.10.2024). – Текст : электронный.
5. Технические указания по устранению пучин и просадок железнодорожного пути. – URL : [https://www.infosait.ru/norma\\_doc/47/47028/index.htm](https://www.infosait.ru/norma_doc/47/47028/index.htm) (дата обращения: 23.10.2024). – Текст : электронный.
6. Атанов, К. А. Методы стабилизации грунтов под объектами нефтегазовой отрасли арктического региона / К. А. Атанов, Р. В. Волчек. – Текст : непосредственный // Проспект Свободный-2024 : материалы юбилейной XX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 15–20 апреля 2024 года. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2024. – С. 251–253.

7. Волчек, Р. В. Анализ причин разрушения железнодорожных путей и способы их устранения / Р. В. Волчек, Т. В. Волчек. – Текст : непосредственный // Образование – наука – производство : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Чита, 12 ноября 2023 года. – Чита : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 157–162.

8. Волчек, Р. В. Технологии добычи метана из газовых гидратов / Р. В. Волчек. – Текст : непосредственный // Нефтяная смена. Энергия будущего! : материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 06 мая 2023 года. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 83–85.

**А. С. Козлова, К. А. Кирпичников**

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

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЯЖЕЛОВЕСНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

*В статье анализируются искусственные сооружения при организации тяжеловесного движения. Рассматривается вопрос увеличения веса грузовых поездов на железных дорогах как способ повышения эффективности перевозок. Отмечается, что увеличение веса поездов влияет на различные технические аспекты железнодорожной инфраструктуры и является перспективным направлением увеличения эффективности железнодорожных перевозок.*

*В статье описываются способы увеличения веса поездов, рассматриваются их преимущества и недостатки. Формулируется вывод о том, что выбор оптимального решения зависит от конкретных условий.*

*Приводится анализ состояния искусственных сооружений на Забайкальской железной дороге, где суровые климатические условия и сложный рельеф создают трудности в содержании и эксплуатации магистралей. Выделяются «слабые» и дефектные сооружения, которые указывают на необходимость комплексного подхода к изучению фактических нагрузок и дальнейших мероприятий по реконструкциям данных искусственных сооружений.*



*Ключевые слова:* тяжеловесное движение, увеличение веса поезда, искусственные сооружения, осевые нагрузки, Забайкальская железная дорога.

Увеличение веса поездов – это не просто способ повысить объем перевозок, но и важный инструмент для улучшения работы железных дорог и снижения стоимости доставки грузов. От веса поезда зависят требования к мощности локомотивов, длине станционных путей, системе электроснабжения и другим техническим аспектам.

В 2022 году телеграм-канал холдинга РЖД сообщил, что, «Российские железные дороги» успешно выполнили опытные отправки поездов массой до 14200 тонн.

Анализируя способы увеличения веса поездов, применяемые на железных дорогах, следует отметить, что часть этих способов может и должна применяться в оперативных условиях эксплуатации линии и не требует сколь-нибудь значительных затрат. Другая часть требует предварительной подготовки для внедрения нового метода, привлечение капитальных затрат и предварительных технико-экономических расчетов, обосновывающих целесообразность реконструкции. Ряд способов (см. Рисунок) могут быть применены и как постоянные, и как временные меры увеличения провозной способности линии. Однако в качестве временной меры поезда большого веса могут быть эффективны лишь на короткий срок.

В современной практике рассматривают несколько способов увеличить объем перевозок по железной дороге.

*Соединённые поезда.* Объединение двух и более составов под управлением нескольких локомотивов – эффективный способ быстро увеличить провозную способность, особенно в периоды пиковых нагрузок или ремонта путей. Такой метод не требует крупных инвестиций, поскольку сцепление и расцепление составов происходит на перегоне. Однако, для максимальной эффективности требуется удлинение станционных путей, что связано со значительными затратами.

*Тяжеловесные поезда.* Организация движения поездов увеличенного веса и длины между станциями с удлиненными путями – еще один действенный метод. Как правило, для этого используются участковые и сортировочные станции. Этот способ требует тщательного планирования графика движения и использования большегрузных вагонов и цистерн для максимальной загрузки.

*Дифференцированное удлинение путей.* В некоторых случаях эффективным решением может стать выборочное удлинение приемо-

отправочных путей на определенных станциях. Это позволяет максимально использовать потенциал локомотивов и имеющуюся длину путей, повышая общую эффективность перевозок.

Каждый из перечисленных методов имеет свои преимущества и ограничения, поэтому выбор оптимального решения зависит от конкретных условий и задач.

Важно отметить, что все факторы, влияющие на вес поезда, должны рассматриваться комплексно. Только комплексный подход с учетом оперативных мер и стратегических инвестиций позволит максимально повысить эффективность железнодорожных перевозок.



**Рис. 1.** Пути увеличения веса грузовых поездов в оперативных условиях, без привлечения значительных капитальных затрат

В настоящее время проектирование железнодорожного пути осуществляется с учетом пропуска пассажирских поездов на скорости до 200 км/ч и грузовых – до 120 км/ч. При этом вагоны должны иметь

статическую осевую нагрузку до 25 тс/ось и погонную нагрузку по осям сцепления до 10,5 тс/м. Согласно СП 119.13330.2017 [1], для обеспечения надежности конструкций земляного полотна необходимо учитывать нагрузки и воздействия при расчетах, а также применять коэффициенты надежности по нагрузкам и возможные сочетания нагрузок, указанные в СП 20.13330.2016 [2]. В частности, нагрузка от оси четырехосного вагона составляет 294 кН (30 тс), а динамическая нагрузка на железнодорожный путь от тележки – 201 кН/м (20,5 тс/м). Новые мосты на российских железных дорогах проектируются под нагрузку С14 в соответствии с СП 35.13330.2011 [3]. Нагрузка С14 была установлена как нормативная, учитывая изменения параметров подвижного состава в первой половине 20-го века и планы развития промышленности и транспорта на период с 1960 по 2000 годы.

Анализ временной расчетной нагрузки на пролётное строение и процентное распределение на Забайкальской железной дороге приведён в табл. 1.

*Таблица 1*

**Временные расчётные нагрузки  
на пролётное строение железнодорожных мостов**

| Наименование нагрузки | Вид сооружения |                |                     |                    |
|-----------------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|
|                       | Временный мост | Смешанный мост | Железобетонный мост | Металлический мост |
| Н8                    | 11 %           | 9 %            | 41 %                | 12 %               |
| Н7                    |                |                | 30 %                | 6 %                |
| 1907 г./Н7            |                |                | 2 %                 | 1 %                |
| 1907 г./Н8            |                |                | 1 %                 |                    |
| 1925 г./Н8            |                |                | Менее 1 %           |                    |
| 1925/Н7               |                |                | Менее 1 %           |                    |
| Н7 до 1947 г.         |                |                | Менее 1 %           |                    |
| Н7/Н8                 |                | 9 %            | Менее 1 %           |                    |
| Н7/С14                |                |                | Менее 1 %           | 4 %                |
| Н8 до 1947 г.         |                |                | Менее 1 %           |                    |
| Н8/С14                |                | 9 %            | Менее 1 %           |                    |
| С14                   |                | 46 %           | 10%                 | 24 %               |
| 2-ФД                  |                |                |                     | 1 %                |

Земляное полотно вновь строящихся железнодорожных линий для грузового и смешанного движения рассчитывается в соответствии с СП 238.1326000.2015 [4]. Осевые и погонные нагрузки для проектирования железнодорожных мостов и путей представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Осевые и погонные нагрузки  
для проектирования железнодорожных мостов и пути**

| Инженерные сооружения                                                             | Нормы                                                     | Осевая нагрузка, тс | Погонная нагрузка, тс/м |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Мосты                                                                             | СП 35.13330.2011 п. 6.11                                  | 35                  | 14                      |
| Верхнее строение пути                                                             | СП 238.1326000.2015<br>СП 119.13330.2017 п. 1.1           | 25                  | 10,5                    |
| Земляное полотно                                                                  | СП 238.1326000.2015<br>СП 119.13330.2017 п. 5.8           | 30                  | 10,5                    |
| Верхнее строение пути<br>специализированных<br>линий (для замкнутых<br>маршрутов) | СП 238.1326000.2015<br>Специальные технические<br>условия | 25                  | 10,5                    |

Проектирование железнодорожных мостов ведется с учетом повышенной временной нагрузки, превышающей нормативную для путей на 25–40 %. Это означает, что мосты на новых железных дорогах обладают заведомо избыточной прочностью.

Подобный подход особенно важен для Забайкальской железной дороги – ключевой транспортной магистрали Восточной России и важного звена Транссибирской магистрали. Магистраль, протяженностью более 8 тысяч километров (эксплуатационная длина – 3320 км), обеспечивает функционирование трансконтинентального коридора и играет важную роль в развитии Забайкальского края и Амурской области.

Специфика Забайкальской железной дороги заключается в ее географическом положении. Суровые климатические условия – низкие зимние температуры (до -50 °С), жаркое лето с резкими перепадами температур, вечная мерзлота, сложный рельеф и множество рек – создают серьезные вызовы для содержания путей, энергоснабжения и обслуживания подвижного состава. В таких условиях избыточная прочность мостовых конструкций является необходимым условием надежности и безопасности перевозок.

Всего на Забайкальской железной дороге более 2000 мостов, путепроводов и виадуков, развернутой длиной около 70 тыс. погонных метров, при этом мостов с датой постройки до 1950 года примерно 1800 мостов, а после 1950 года – около 300 мостов. Самый ранний год ввода в эксплуатацию – 1889 год. Самый последний год ввода в эксплуатацию – 2023 год. Реконструированных мостов после 2000 года примерно 275 шт., а до 2000 года – 1220 шт. Мостов, требующих реконструкцию – 656 шт. Самый ранний год реконструкции моста – 1904 год. Последний год реконструкции моста – 2023 год.

На кафедре «СЖД» ЗаБИЖТ выполнен анализ имеющейся информации о наличии «слабых» и дефектных сооружений на Забайкальской железной дороге. В данном исследовании под «слабыми» сооружениями понимаются те, которые не способны обеспечить пропуск проезжающих поездов без ограничений по скорости или нагрузке из-за их состояния и грузоподъемности (прочности и устойчивости). Анализ слабых сооружений приведён в табл. 3.

*Таблица 3*

**Анализ состояния сооружений**

| Наименование сооружений          | Слабые сооружения       |                                       |                                              |                                         |                                     |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
|                                  | Низкая грузоподъемность | Просадки, крены и пучения опор мостов | Растяжка деформационных швов и просадки труб | Повышенные колебания пролетных строений | Колебания опор мостов под нагрузкой |
| Бетонная труба                   |                         |                                       | 100 %                                        |                                         |                                     |
| Временный мост                   | 11 %                    |                                       |                                              |                                         |                                     |
| Ж.-д. путепровод (металлический) | 100 %                   |                                       |                                              |                                         |                                     |
| Железобетонная труба             |                         |                                       | 64 %                                         |                                         |                                     |
| Железобетонный лоток             |                         |                                       | 50 %                                         |                                         |                                     |
| Железобетонный мост              | 7 %                     | 4 %                                   | 4 %                                          | Менее 1 %                               | Менее 1 %                           |
| Труба каменная                   |                         |                                       | 28 %                                         |                                         |                                     |
| Лоток                            |                         |                                       | 23 %                                         |                                         |                                     |
| Металлический мост               | 22 %                    | 12 %                                  |                                              | 2 %                                     |                                     |
| Пешеходный мост                  |                         | 67 %                                  |                                              | 17 %                                    |                                     |
| Смешанная труба                  |                         |                                       | 38 %                                         |                                         |                                     |
| Смешанный мост                   | 18 %                    | 27 %                                  |                                              |                                         |                                     |
| Труба металлическая              |                         |                                       | 10 %                                         |                                         |                                     |

Под дефектными сооружениями понимаются конструкции, имеющие неисправности, которые могут привести к снижению несущей способности. Анализ количества сооружений по типам дефектов приведен в табл. 4.

Таблица 4

**Анализ количества сооружений по типам дефектов**

| Наименование сооружений | Дефектные сооружения                                                   |                                                                           |                                       |                  |                                         |                                              |                            |                                           |                                          |                          |                         |                                                |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|
|                         | Искривление сжатых элементов и неисправность их соединительной решетки | Трещины в растянутых элементах или в растянутой зоне изгибаемых элементов | Трещины в сварных пролетных строениях | Коррозия металла | Слабый бетон и ПС с откидными консолями | Оголение рабочей арматуры пролетных строений | Подмывы опор мостов и труб | Деревянные мосты и трубы, временные мосты | Недостаточная водопропускная способность | Большая толщина балласта | Короткие трубы и другие | Металлические мосты старых норм проектирования |
| Временный мост          |                                                                        |                                                                           |                                       |                  |                                         |                                              |                            | 100 %                                     |                                          |                          |                         |                                                |
| Галерея                 |                                                                        |                                                                           |                                       |                  | 100 %                                   |                                              |                            |                                           |                                          |                          |                         |                                                |
| Железобетонная труба    |                                                                        |                                                                           |                                       | < 1 %            | 7 %                                     |                                              | 2 %                        |                                           | 13 %                                     | < 1 %                    | 23 %                    | < 1 %                                          |
| Железобетонный лоток    |                                                                        |                                                                           |                                       |                  |                                         |                                              |                            |                                           | 50 %                                     |                          |                         |                                                |
| Железобетонный мост     | < 1 %                                                                  | < 1 %                                                                     |                                       |                  | 24 %                                    | 9 %                                          | < 1 %                      |                                           | 1 %                                      | 81 %                     | < 1 %                   |                                                |
| Каменная труба          |                                                                        |                                                                           |                                       |                  | 14 %                                    |                                              |                            |                                           | 5 %                                      | 1 %                      | 48 %                    | 11 %                                           |
| Каменный мост           |                                                                        | 23 %                                                                      |                                       |                  | 69 %                                    |                                              |                            |                                           |                                          | 8 %                      |                         |                                                |
| Лоток                   |                                                                        |                                                                           |                                       |                  | 8%                                      |                                              |                            |                                           | 39 %                                     |                          | 23 %                    | 8 %                                            |
| Металлическая труба     |                                                                        |                                                                           |                                       |                  |                                         |                                              |                            |                                           | 80 %                                     |                          | 10 %                    |                                                |
| Металлический мост      |                                                                        | 1 %                                                                       | 14 %                                  | 6 %              | 23 %                                    |                                              | 2 %                        |                                           |                                          | 2 %                      |                         | 31 %                                           |
| Смешанная труба         |                                                                        |                                                                           |                                       |                  | 23 %                                    |                                              | 8 %                        |                                           | 13 %                                     |                          | 31 %                    |                                                |
| Смешанный мост          |                                                                        |                                                                           |                                       | 18%              | 36%                                     |                                              |                            |                                           |                                          | 9 %                      |                         | 18%                                            |



Согласно [5] «...за последние две недели железнодорожники отправили 11 поездов массой 14 200 тонн и 14 поездов массой 13 400 тонн на участке Облучье – Хабаровск. На участке Тайшет – Иркутск отправлено шесть поездов массой 14 200 тонн и девять поездов массой 13 400 тонн. Ежедневно по сети ОАО «РЖД» на восток следует около 30 сдвоенных поездов весом от 12,6 до 14,2 тыс. тонн. Технология сдвоенных поездов требует наличия магистральной грузовой тяги, способной тянуть состав такой длины и веса, и соответствующей инфраструктуры как для отправки, так и для принятия поездов такой длины. При этом в статье не указывается, есть ли ограничения по пропуску таких поездов по искусственным сооружениям.

**Заключение.** Увеличение веса грузовых поездов является важным и перспективным направлением повышения эффективности железнодорожных перевозок. Существует несколько способов увеличения веса поездов, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Для достижения максимального эффекта необходим комплексный подход, учитывающий как оперативные меры, так и стратегические инвестиции.

Анализ представленной информации позволяет сделать вывод о том, что увеличение веса поездов является перспективным направлением повышения эффективности железнодорожных перевозок. Успешные опыты РЖД по отправке поездов массой до 14 200 тонн подтверждают эту возможность. Только комплексный подход с учетом всех факторов позволит реализовать потенциал увеличения веса поездов и вывести эффективность железнодорожных перевозок на новый уровень.

С учетом вышесказанного, следует сделать вывод, что новые мосты проектируются под нагрузку заведомо большую, но на Забайкальской железной дороге большое количество старых мостов. Необходимо комплексное изучение состояния мостов с учетом фактической нагрузки и реконструкция данных мостов. Данный вопрос актуален и интересен для исследования.

#### *Библиографический список*

1. СП 119.13330.2017 Железные дороги колеи 1520 мм. – Текст : непосредственный.
2. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. – Текст : непосредственный.
3. СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. – Текст : непосредственный.
4. СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь. – Текст : непосредственный.

5. Сдвоенные тяжеловесные. По Восточному полигону успешно проследовали десятки поездов массой 14 200 тонн // Гудок : [сайт]. – URL : <https://gudok.ru/news/?ID=1615456> (дата обращения: 06.10.2024). – Текст : электронный.

6. Непомнящих, Е. В. Диагностика состояния железнодорожного пути : учебное пособие по выполнению лабораторных работ для студентов 2 и 4 курса очной и заочной форм обучения специальности 271501 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» / Е. В. Непомнящих, К. А. Кирпичников. – Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский университет путей сообщения», 2012. – 109 с. – Текст : непосредственный.

7. Благоразумов, И. В. Проектные решения по усилению мощности Забайкальской железной дороги на примере перегонов Ковали–Гудачи и Карымская–Оловянная / И. В. Благоразумов, А. К. Кемкина, Г. В. Ермолаева, Е. В. Непомнящих. – Текст : непосредственный // Образование – Наука – Производство : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). 2022. – С. 88–99.

**А. С. Козлова, Е. Э. Домашина,  
И. В. Благоразумов, К. А. Кирпичников**  
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,  
г. Чита, Россия*

## **ОБХОД ГОРОДА ЧИТА КАК ЭФФЕКТИВНАЯ МЕРА ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЧАСТКА ТРАНССИБА В ПРЕДЕЛАХ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*Статья посвящена обоснованию необходимости строительства обходной железнодорожной ветки вокруг города Чита. Отмечается, что Читинский железнодорожный узел в настоящее время является «узким местом» на пути следования транзитных грузопотоков, следующих в направлении Китая и портов Дальнего Востока. Это обусловлено значительным ростом объёмов железнодорожных перевозок через пограничные переходы с Китаем и Монголией.*

*Анализируются основные факторы, обуславливающие необходимость обхода Читы: ускорение поездопотока, высокая доля транзит-*

*ных грузов, загруженность транспортной инфраструктуры города, несоответствие существующего участка железной дороги современным нормам.*

*Рассматриваются три возможных варианта обходной железнодорожной трассы, разработанные на кафедре «СЖД» Забайкальского института железнодорожного транспорта. Приводятся технические характеристики и сравнение этих вариантов.*

*Реализация проекта обхода Читинского транспортного узла позволит вынести транзитное грузовое движение за пределы города, сократить протяжённость пути и время следования поездов, тем самым значительно повысив пропускную способность железнодорожного участка.*

*Ключевые слова: пропускная способность, обход города Чита, Читинский узел, Забайкальская железная дорога, транзитные грузоперевозки.*

Одним из эффективных способов увеличения пропускной способности Читинского узла Забайкальской железной дороги является строительство обходной железнодорожной трассы вокруг города Чита. Это решение существенно снизит нагрузку на станции Чита-1 и Чита-2, а также на железнодорожные переезды города, что, в свою очередь, повысит уровень транзитных грузоперевозок.

Создание новой железнодорожной ветки, минующей город Чита, потребует значительных инвестиций и дополнительных расходов на эксплуатацию, связанной с содержанием инфраструктуры и потенциальным увеличением пробега подвижного состава. Данная ситуация подчеркивает необходимость проведения технико-экономических обоснований.

Один из действенных методов улучшения пропускной способности станций и устранения проблем в их функционировании заключается в строительстве обходных путей для пропуска транзитных поездов. Это позволит значительно разгрузить внутренние пути и сортировочные станции, а также отсрочить необходимость их капитального ремонта.

Уже в начале 2000 годов стало очевидным, что грузопоток по Транссибу на участке Петровский Завод – Забайкальск Забайкальской железной дороги сдерживают транспортные узлы по станции Чита-1 и Чита-2, при этом вариант железнодорожного обхода был разработан еще в начале 1970-х годов. Планировалось построить вдоль южного берега реки Ингода однопутную железнодорожную линию длиной в 21 км. В 1989 году госкомиссия приняла первую очередь строительства: земляное полотно и опоры моста возле Антипихи. Но с началом реформ, несмотря на готовую проектную документацию, строительство обхода остановилось.

Рассмотрим основные факторы, обуславливающие необходимость обхода Читы:

1. Ускорение поездопотока в направлении Маньчжурии и портов Дальнего Востока. Грузоперевозки через погранпереход Забайкальск–Маньчжурия выросли на треть, а по новому трансграничному мосту Нижнеленинское–Тунцзян передано 3,3 млн тонн грузов (в 2022 г. – 80 тыс. тонн). Всего через железнодорожные погранпереходы на границе с Китаем и Монголией перевезено 43,9 млн тонн (+26 %).

2. Доля транзитных грузов на Забайкальской железной дороге составляет 80–85 %. Объем экспортно-импортных и транзитных грузов через сухопутный участок границы с Китаем в 2022 году достиг 28,3 млн тонн.

3. Загруженность транспортной инфраструктуры Читы. Центр города страдает от перегруженности движения – на 4-5 % площади улично-дорожной сети приходится до 40 % городского трафика.

4. Несоответствие существующего участка железной дороги в черте Читы современным нормам – преобладают круговые кривые с малыми радиусами.

Представленные факторы, влияющие на необходимость обхода города Чита железнодорожным путем, инициировали предложения по вариантам обхода города. На кафедре «СЖД» ЗаБИЖТ (филиал ИрГУПС) данным вопросом занимались давно, с разной степенью проработки проектных решений.

Обход города Чита предполагает следующие варианты: первый – новая железнодорожная линия от станции Ингода, второй и третий – от станции Домна. Примыкание трассы запроектировано в районе станции Атамановка, в обход хребтов, расположенных вблизи поселка Атамановка. Вблизи станций Ингода и Домна, на западе района проектирования присутствуют озера Сосновое, Кривое, Долгое, Подборное, Подключное, Дударини, Татарское, Сибонское. В восточной части имеется падь Половинная и Широкая. На территории расположены села – Амодово, Сивяково, Еремино. С востока на запад вдоль железнодорожной трассы протекает река Ингода. Основным препятствием при трассировании будет река Ингода с притоками: Какова, Нарин; Чистый; Скородумка; Большая, средняя, малая Нарымка; Ернишний; Молоковка; Шалота, Никишиха. В районе проектирования проходит главный водораздел, представленный Черским хребтом. Он ограничивают бассейны реки Ингода с запад и восток: Западный и Южный.

В соответствии с нормами запроектированы 3 варианта обхода города Чита двухпутной железнодорожной линии. Первый и второй вариант отходит от станции Домна к месту примыкания остановочного пунк-



та Каменный карьер. Заданный уклон трассирования 9‰, в трудных условиях 18‰.

В первом варианте нечетного направления принято решение перейти железнодорожные пути и федеральную трассу, также реку Ингода петлей радиуса 1000 м, повернув в направлении села Сивяково, затем повернув круговой кривой радиусом 1500 м, чтобы пройти по окраине города мимо сел Еремино, хребта Садовского. Этот вариант развития назван Северным ходом. Трасса пересекает автодорогу, которая направлена на санаторий «Молоковка», тянется вдоль реки Ингода к точке примыкания с круговой кривой радиусом 1000 м. Длина трассы первого варианта составила 55 км 448 м (рис. 1).



**Рис. 1.** Вариант 1-й трассы. Северный ход

Второй вариант нечетного направления с петлей радиусом 1000 м. Трасса проходит по карте южнее в отличие от первого варианта. Этот вариант развития назван Серединным ходом. Пересекает главный водораздел (Черский хребет), долины рек Чистый и Большой Нарымки. Примыкает круговой кривой радиусом 1000 м. Длина трассы 54 км 448 м (рис. 2).

Третий вариант отмыкает петлей от остановочного пункта Ингода, пересекая железную дорогу и федеральную трассу. Этот вариант развития назван Южным ходом. Пересекает стоки озер Кривое, Подключное, реки Нарын, Рассошка, Большая Нарымка. Трасса огибает хребет вблизи Каменного карьера, и примыкает к существующей дороге круговой радиусом 1000 м к остановочному пункту Глубокая падь. Трасса длиной 54 км 46 метров (рис. 3).



**Рис. 2.** Вариант 2-й трассы. Серединный ход



**Рис. 3.** Вариант 3-й трассы. Южный ход

Показатели рассмотренных вариантов приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Показатели трассы, плана и профиля вариантов**

| Показатель                                         | Ед.             | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 |
|----------------------------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| Длина                                              | км              | 55,618    | 53,448    | 53,046    |
| Протяженность средних уклонов                      | км              | 40,318    | 40,778    | 40,956    |
| Протяженность максимальных уклонов                 |                 | 15,3      | 13,67     | 13,09     |
| Протяженность участка по топографическим условиям: | км              |           |           |           |
| – подъёмы                                          |                 | 25,023    | 21,965    | 21,640    |
| – косогорность                                     |                 | 36,363    | 35,09     | 38,669    |
| Протяженность участка по геологическим условиям:   | км              |           |           |           |
| – долины рек                                       |                 | 16,6      | 20        | 16,9      |
| Площадь земель под снос                            | км <sup>2</sup> | 0,3       | 1,2       | 0,1       |



Из всех трех вариантов трасс выигрывает 3-й вариант, в сравнении с 1-м вариантом по критериям: укорочение длины трассы на 1 км 572 метра, тем самым увеличивает скорость прибытия на станцию Каменная падь; протяженности максимальных уклонов, сокращает протяженность на 2,2 км; минимальное пересечением с автодорогами; минимальная протяженность подъемов на 3,383 м, минимальное количество долин рек на 3,4 км; минимальное значение площади земель под снос. Выгодность 2-го варианта заключается в минимальном количестве ИССО. Уменьшение количества водопропускных труб на 7 т, малых мостов на 10, что существенно влияет сметную стоимость возведения трассы; минимальная протяженность косогорности, сокращаемость 3,579 км.

Сравнение вариантов трасс, исходя из балльности строительной стоимости, приведенной в табл. 2.

*Таблица 2*

**Итоговое сравнение вариантов**

| Показатели              | 1 Вариант | 2 Вариант | 3 Вариант |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Длина                   | 55,618    | 54,448    | 54,046    |
| Средние уклоны          | 40,318    | 40,778    | 40,956    |
| Максимальные уклоны     | 15,3      | 13,67     | 13,09     |
| Мосты большие           | 2         | 2         | 2         |
| Мосты малые             | 12        | 2         | 9         |
| Водопропускные трубы    | 41        | 34        | 34        |
| Пересечение ж/д         | 2         | 2         | 2         |
| Пересечение а/д         | 3         | 2         | 1         |
| Подъемы                 | 25,023    | 21,965    | 21,64     |
| Спуски                  | 30,595    | 32,483    | 32,406    |
| Косогорность            | 36,363    | 35,09     | 38,669    |
| Долины рек              | 16,6      | 20        | 16,9      |
| Скальные участки        | 39,018    | 34,448    | 37,146    |
| Площадь земель под снос | 0,3       | 1,2       | 0,1       |
| Итого                   | 4754,752  | 4103,21   | 4473,29   |

По первому варианту итоговый показатель составил 4754,752; второй вариант – 4103,21; третий вариант – 4473,29. Принимаем вариант по минимальному значению 4103,21. Оптимальным направлением трассы выходит по второму варианту.

Рассмотрим способы примыкания новой железной дороги к существующей.

В нечетном направлении Атамановка–Домна поворот круговой кривой налево от существующих путей радиусом 1000 м от станции

Домна на 6163 км 7пк+09,9 с проектной отметкой 684,24 м. Круговая кривая выходит на прямую вставку длиной 600 м, затем поворачивает двумя радиусам 1000 м петлеобразным способом. Пересекает железнодорожные пути на 6169 км 7 пк с отметкой 696,43. В четном направлении Домна–Атамановка круговая кривой радиусом 1000 м поворачивает направо. Пересечение двух путей на мосту через реку Ингода на 6170 км 9 пк с высотной отметкой 689,9 м (рис. 4).



**Рис. 4.** Вариант 1, 2 трассы на станции Домна

Примыкание первых двух вариантов трасс схоже между собой. В нечетном направлении пересекает существующие железнодорожные пути км 6211 пк 3 с отметкой 692,52 м и реку Ингоду на 6211 км пк 8 отметка 689,96 м, огибая высотную точку кривой радиусом 1000 м, направляясь по прямой к остановочному пункту «Каменная падь», примыкание по средством радиуса кривой 1000 м (рис. 5).

Примыкание третьего варианта идентично первому и второму вариантам, различие имеется в остановочных пунктах. Железнодорожная трасса отходит от станции Ингода 6156 км пк 4 с отметкой 696,78 м. Радиусы круговых кривых 1000 м. Уровень головок рельсов первого и второго пути с общей высотной отметкой 705,62 м. Пересечение существующих железнодорожных путей нечетного направления км 6204 пк 4 (рис. 6).



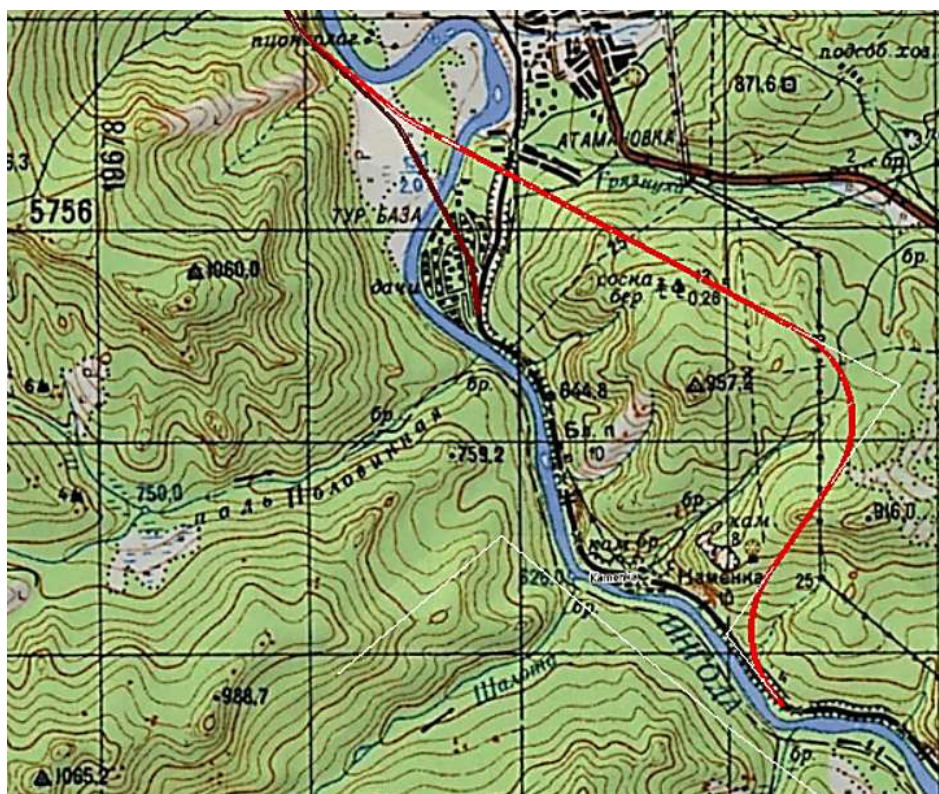


Рис. 5. Вариант 1, 2 трассы на остановочном пункте «Каменная падь»



Рис. 6. Вариант 3-й трассы на остановочном пункте «Ингода»



Примыкание 3 варианта трасс к остановочному пункту «Глубокая падь». Примыкание предоставлено севернее в нечетном направлении, радиусом 1000 метров круговая кривая поворачивает направо. Пересечение железнодорожных путей-км 6204 пк 4 с отметкой 697,5 м и реки Ингода на 6204 км пк 2. В четном направлении, представлено по южной стороне. Пересечение реки Ингода 6204 км пк 9 (рис. 7).



**Рис. 7.** Вариант 3-й трассы на остановочном пункте «Глубокая падь»

**Закключение.** В условиях значительного увеличения объемов грузоперевозок Читинский железнодорожный узел становится серьезным ограничением на пути ускорения транзитных перевозок. Особенно острой эта проблема становится в свете роста транзитных грузопотоков, следующих в направлении Китая и портов Дальнего Востока.

На кафедре «Строительство железных дорог» Забайкальского института железнодорожного транспорта вопрос оптимизации поездопотока на Забайкальской железной дороге является давно актуальным.

Очевидно, что строительство железнодорожного обхода Читы необходимо для сокращения времени прохождения грузовых поездов, увеличения их скорости и исключения маневровых работ в черте города. Это позволит разгрузить транспортную сеть Читы и повысить пропускную способность железнодорожного участка Домна–Атамановка.

Реализация проекта обхода Читинского транспортного узла позволит вынести транзитное грузовое движение за пределы города, сократить протяженность пути, время работы локомотивных бригад и значительно увеличить скорость следования поездов по этому участку.

*Библиографический список*

1. Непомнящих, Е. В. Диагностика состояния железнодорожного пути : учебное пособие по выполнению лабораторных работ для студентов 2 и 4 курса очной и заочной форм обучения специальности 271501 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» / Е. В. Непомнящих, К. А. Кирпичников. – Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский университет путей сообщения», 2012. – 109 с. – EDN MNSWQJ. – Текст : непосредственный.

2. Система оповещения о свободности железнодорожных переездов / М. Г. Комогорцев, Е. В. Непомнящих, Я. В. Клочков [и др.]. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 26–28. – EDN WBANLR.

3. Анализ элементов бесстыкового пути в сложных условиях Забайкальской железной дороги / Е. В. Непомнящих, Я. В. Клочков, С. Н. Афанасенко [и др.]. – Текст : непосредственный // Организация безопасности на транспорте : межвузовский сборник научно-методических трудов / Забайкальский институт железнодорожного транспорта. – Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский университет путей сообщения», 2015. – С. 229–235. – EDN VYFAHR.

4. Евсеева, Ю. В. Высокоскоростные магистрали по территории Забайкальского края в системе устойчивого обеспечения туристопотока между Россией и КНР / Ю. В. Евсеева, К. А. Кирпичников. – Текст : непосредственный // Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 08–09 февраля 2017 года. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 103–106. – EDN ZGGKRP.

5. Качесова, О. Ю. Спрямление трассы Забайкальской железной дороги – как эффективная мера по увеличению её мощности / О. Ю. Качесова, К. А. Кирпичников. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2018. – Том 1. – С. 521–524. – EDN XSHYTR.



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

## **АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ РЕКОНСТРУКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ УЧАСТКОВ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*Статья посвящена вопросам реконструкции и оптимизации Забайкальской железной дороги. Рассмотрены различные варианты реконструкции данного участка, включающие модернизацию с применением спрямления кривых. Особое внимание уделено анализу нескольких конкретных участков Забайкальской железной дороги, где предложены оптимизационные решения по реконструкции трассы. Представлены технико-экономические показатели, преимущества и недостатки рассмотренных вариантов.*

*Реализация проектов реконструкции Забайкальского участка Транссиба потребует значительных капитальных вложений, но позволит существенно повысить эффективность эксплуатации данной важной железнодорожной магистрали в условиях роста грузопотока и пассажирских перевозок.*

*В целом, статья демонстрирует комплексный подход к решению задач модернизации и оптимизации Забайкальской железной дороги с использованием современных проектных решений.*

*Ключевые слова: реконструкция, спрямление, петлеобразное развитие, Забайкальская железная дорога, оптимизация.*

Транссибирская железнодорожная магистраль – это современный маршрут, который соединяет Европейскую Россию и восточные регионы страны. Актуальность данного исследования заключается в том, что данная магистраль обладает большими перспективами для развития и значительным экономическим потенциалом. Забайкальская часть Транссиба проходит через различные природные зоны и включает искусственное удлинение трассы, в некоторых местах имеются петлеобразные участки, что позволяет преодолевать высоты и пропускать тяжеловесные поезда.

Забайкальская железная дорога играет ключевую роль в мировой транспортной системе, обеспечивая потребности экономики в перевозках. Однако в процессе эксплуатации её параметры ухудшаются, что требует регулярных ремонтов и реконструкции для восстановления и повышения эксплуатационных характеристик.

Спрямление кривых и уменьшение многорадиусных участков представляют собой важные мероприятия по реконструкции. На Забайкальской железной дороге такие мероприятия особенно необходимы, ведь рельеф местности создает дополнительные трудности. Создание комплексного решения для реконструкции и выносу трассы на новую ось является одной из ключевых задач современного проектирования.

В пределах Забайкальской железной дороги проанализировано несколько участков, на которых возможно провести оптимизационные мероприятия по уположению плана и продольного профиля. К таким участкам относятся:

1. Яблоневый хребет (ст. Сохондо – ст. Яблоневая – ст. Лесная),
2. Амазарская дистанция пути (ст. Жанна – ст. Малоковали)
3. Петлеобразное развитие на участке ст. Кислый Ключ – ст. Артеушка – ст. Пенковская;
4. Петлеобразное развитие на участке ст. Ерофей Павлович – ст. Сегачама – ст. Большая Омутная;
5. Петлеобразное развитие на участке ст. Горелый – ст. Сковородино.

Участок ст. Сохондо – ст. Яблоневая – ст. Лесная. Яблоневый хребет в центральном Забайкалье имеет длину 650 км и высоту до 1706 м. Исследование этой зоны актуально из-за ее экономического потенциала, однако существующий проект железнодорожного пути имеет множество недостатков, включая:

1. крутые уклоны (до 20‰);
2. короткие элементы профиля (от 100 до 1000 м);
3. высокая алгебраическая разность уклонов (более 13‰);
4. кривые с минимальным радиусом 300 м;
5. свыше 40 % кривых на трассе;
6. крутые косогоры;
7. негабаритные участки;
8. неблагоприятная геология.

Эти недостатки ограничивают скорость движения поездов, удлиняют трассу, требуют кратной тяги, вызывают ускоренный износ рельсов и увеличивают расходы на содержание дороги.

В результате анализа ситуации разработаны два варианта (I и II) реконструкции существующего пути (рис. 1).

Оба варианта трассы имеют одинаковое расположение и точки подключения к действующей железной дороге, но отличаются тем, что в первом варианте запроектирован тоннель, а во втором – глубокая выемка. Оба варианта позволяют сократить эксплуатационные расходы, уменьшив длину трассы на 3,2 км и устранив третий путь.





**Рис. 1.** Спряжения участка на перегоне Соходно – Лесная

Для улучшения существующего проекта можно предложить следующие решения:

1. Локальная реконструкция – включает увеличение радиусов кривых, сглаживание профиля и усиление искусственных сооружений (рис. 2).



**Рис. 2.** Вариант локальной реконструкции участка

2. Укрупненная реконструкция – подразумевает переустройство сложных участков, спрямление профиля и частичный вынос трассы (рис. 3).





Рис. 3. Вариант укрупненной реконструкции участка

3. Глобальная реконструкция – включает проектирование новой трассы с использованием нового выноса (рис. 4).

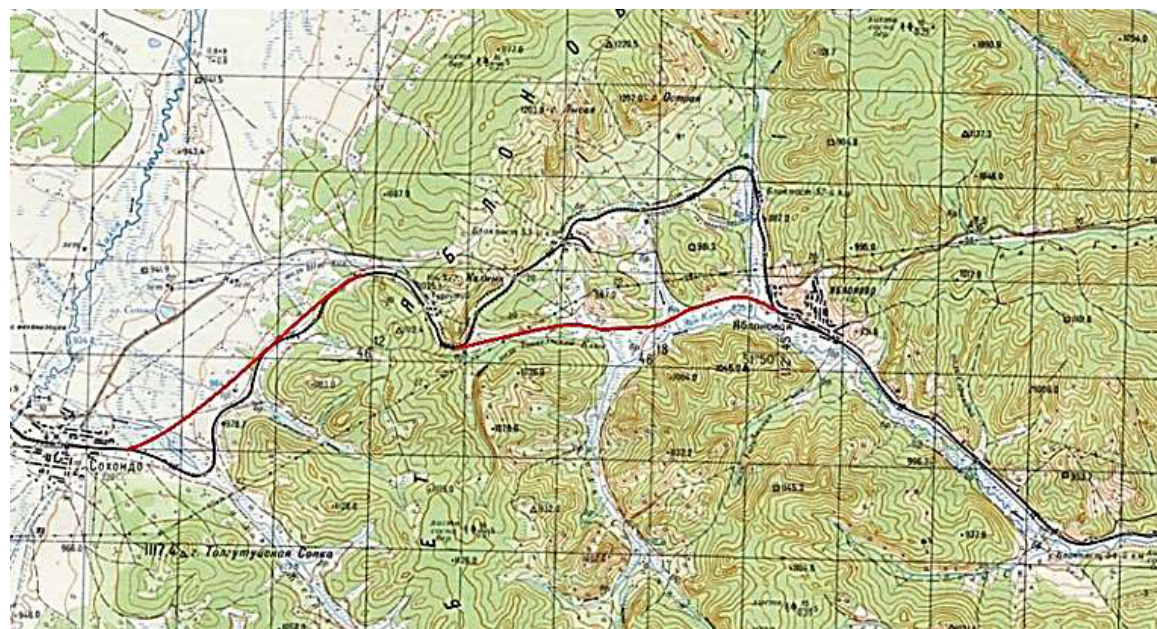


Рис. 4. Вариант глобальной реконструкции участка

Каждое из предложенных решений имеет свои плюсы и минусы, и правильный выбор комбинации поможет минимизировать недостатки. Глобальная реконструкция, хотя и требует значительных затрат, наибо-



лее эффективно повысит пропускную способность и скорость движения поездов. Учитывая, что на Яблоновом хребте находится самую высокую точку Транссиба (1022 м), уменьшение высоты трассы даже на несколько метров значительно снизит эксплуатационные расходы.

В 2023 году на кафедре СЖД ЗаБИЖТ (г.Чита) был проанализирован перегон Жанна – Малоковали ЗабЖД с целью его реконструкции. Участок относится к Амазарской дистанции пути, представляет собой двухпутный электрифицированный путь с автоблокировкой.

Реконструкция перегона Жанна – Малоковали направлена на улучшение параметров дороги для сокращения времени в пути и эксплуатационных расходов. Участок, имеющий бесстыковой путь на железобетонных шпалах, является особогрузонапряженным. Он включает 36 круговых кривых, из которых 8 – радиусом менее 600 м, а средний уклон составляет 5,55‰, с участками уклона более 10‰ протяженностью 3,9 км.

Для двух вариантов реконструкции трассы установлены разные нормы радиусов круговых кривых: 600 м для первого варианта и 1200 м для второго. В сложных условиях возможно уменьшение радиусов до 600 м; для существующей дороги допустимый радиус – 1200 м.

Ключевыми условиями для обоих вариантов является привязка начала и конца трассы к осям станций Жанна и Малоковали, а также к отметкам бровки земляного полотна.

Первый вариант трассы имеет длину 12,63 км и включает 12 круговых кривых: 2 радиусом 1200 м, 3 – 1000 м, 3 – 800 м и 4 – 600 м. Второй вариант короче – 11,15 км, с 6 круговыми кривыми радиусом 1200 м. Общая протяженность кривых составляет 8807 м для первого и 6322 м для второго варианта.

Максимальный уклон по обоим вариантам профиля равен 13‰. Земляное полотно проектируется с насыпями и выемками.



**Рис. 5.** План трассы первого варианта



Рассмотрим первый вариант реконструкции перегона, представленный на рис. 5. Длина трассы – 12,63 км, руководящий уклон – 13‰. Содержит 12 кривых: 2 кривые R-1200 м, 3 кривые R-1000 м, 3 кривые R-800 м, 4 кривые R-600 м. Общая протяженность кривых – 8807 м. На участке протяженностью 10,1 км проектная и существующая оси совпадают.

Второй вариант реконструкции перегона представлен на рис. 6. Длина трассы – 11,15 км, руководящий уклон – 13‰. Содержит 6 кривых R-1200 м. Общая протяженность кривых – 6322 м. На участке протяженностью 2,15 км проектная и существующая оси совпадают.



**Рис. 6.** План трассы второго варианта

Рассмотрим участок ст. Кислый Ключ – ст. Артеушка – ст. Пеньковая, который проходит в пределах Могочинской дистанции пути. Продольный профиль имеет максимальный уклон 13,4‰ и 70 % кривых, из которых 30 % – малого радиуса.

Данный участок длиной 29 км включает два перегона и несколько петель с углами поворота более 180 градусов. Для улучшения условий было предложено два варианта спрямления трассы (рис. 7).

Первый вариант (7,5 км) соединяет Артеушка и ст. Пеньковая, сокращая общую длину трассы на 11,5 км.

Второй вариант (17,7 км) охватывает три перегона и также исключает петли, с сокращением длины на 11,25 км. Этот вариант предполагает строительство новой станции и закрытие существующих.

Сравнение затрат показывает преимущество второго варианта, так как он избавляет от необходимости сооружения дорогостоящего тоннеля. При этом достигаются улучшения по времени в пути, расходу электроэнергии и эксплуатационным расходам. Скорость движения поездов может подняться до 80 км/ч по сравнению с текущими 53 км/ч. Реализация

этого варианта потребует значительных капитальных затрат, срок окупаемости – 20–25 лет, с возможностью сокращения при детальном проектировании.

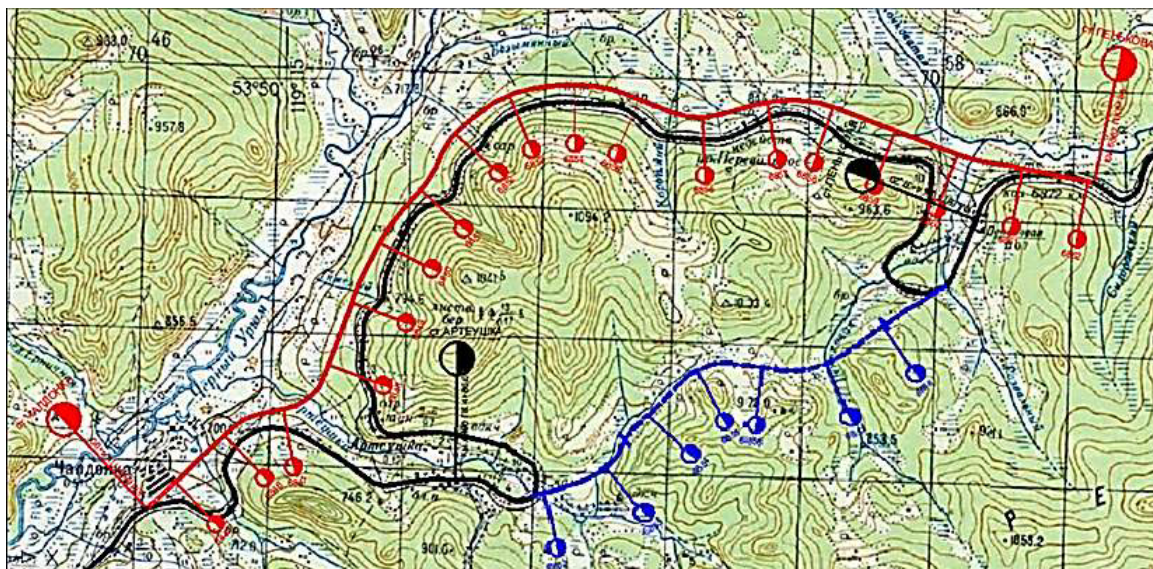


**Рис. 7.** Варианты спрямления трассы  
на участке Кислый Ключ – Артеушка – Пеньковая

Возможности увеличения мощности на перегоне Ерофей Павлович – Большая Омутная. Этот участок характеризуется сложным профилем и планом, где 70 % составляет кривые.

Анализ показал, что:

1. На трассе есть кривые с углом поворота более  $180^\circ$ , создающие петли.
2. Кривые занимают 70 % всей длины, многие из них радиусом до 500 м.
3. Продольный профиль включает затяжные подъемы и спуски с уклонами до 12‰.
4. Также на участке имеется множество искусственных сооружений.

Эти факторы удлиняют маршрут и затрудняют увеличение скоростей и пропускной способности. Для оптимального использования мощности локомотивов необходимо обеспечить перевозки полновесными и полносоставными поездами.

Предлагается вариант спрямления трассы с выносом на новую ось, охватывающий 29,1 км и ликвидирующий петли и многорадиусность (рис. 8). Применение направленных взрывов и современного оборудования позволяет создавать более короткие трассы, что значительно увеличивает объем земляных работ до 70–80 % затрат.



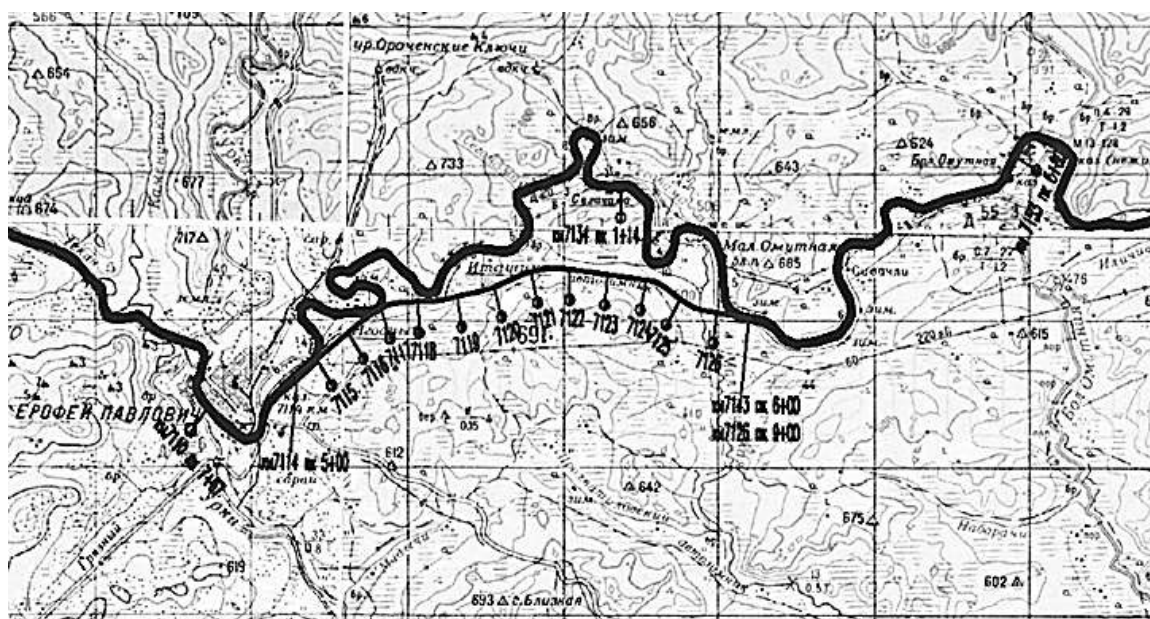


*Рис. 8.* Вариант спрямления трассы железной дороги

В 2021 году сотрудники кафедры СЖД ЗаБИЖТ провели анализ плана перегона ст. Ерофей-Павлович – ст. Сегачама и выявили множество кривых, не соответствующих современным требованиям проектирования. Это стало основанием для задачи спрямления кривых на данном участке.

Учитывая сложный рельеф, многорадиусные кривые и петли существующей трассы, целесообразно вынести земляное полотно на новую ось. Цель проектирования состоит в нахождении оптимального положения оси линии, обеспечивающего разумное соотношение между длиной и объемами земляных работ при соблюдении норм проектирования.

Были разработаны четыре варианта трассы: два с новой промежуточной станцией (ст. Новый Ерофей-Павлович), третий – рядом с существующим участком и четвертый – с полным обходом текущей трассы (рис. 9).

В связи с изменением длины перегона между ст. Ерофей-Павлович и ст. Сегачама, изменится длина остальных перегонов, а также всего участка от ст. Аячи до ст. Сгбеево.

В результате проектирования разработаны четыре варианта трассы со следующими фактическими длинами:

- Вариант № 1: 17,50 км
- Вариант № 2: 10,34 км
- Вариант № 3: 14,10 км
- Вариант № 4: 18,00 км

Трасса реализована как с выемками, так и с насыпями. Максимальная высота насыпи:

- Вариант № 1: 12,09 м (отметка 490,88 м)
- Вариант № 2: 5,48 м (отметка 542,67 м)
- Вариант № 3: 12,62 м (отметка 500,25 м)
- Вариант № 4: 23,07 м (отметка 516,91 м)

Максимальная глубина выемки:

- Вариант № 1: 36,80 м (отметка 525,29 м)
- Вариант № 2: 45,95 м (отметка 564,17 м)
- Вариант № 3: 59,97 м (отметка 567,19 м)
- Вариант № 4: 25,20 м (отметка 534,16 м)

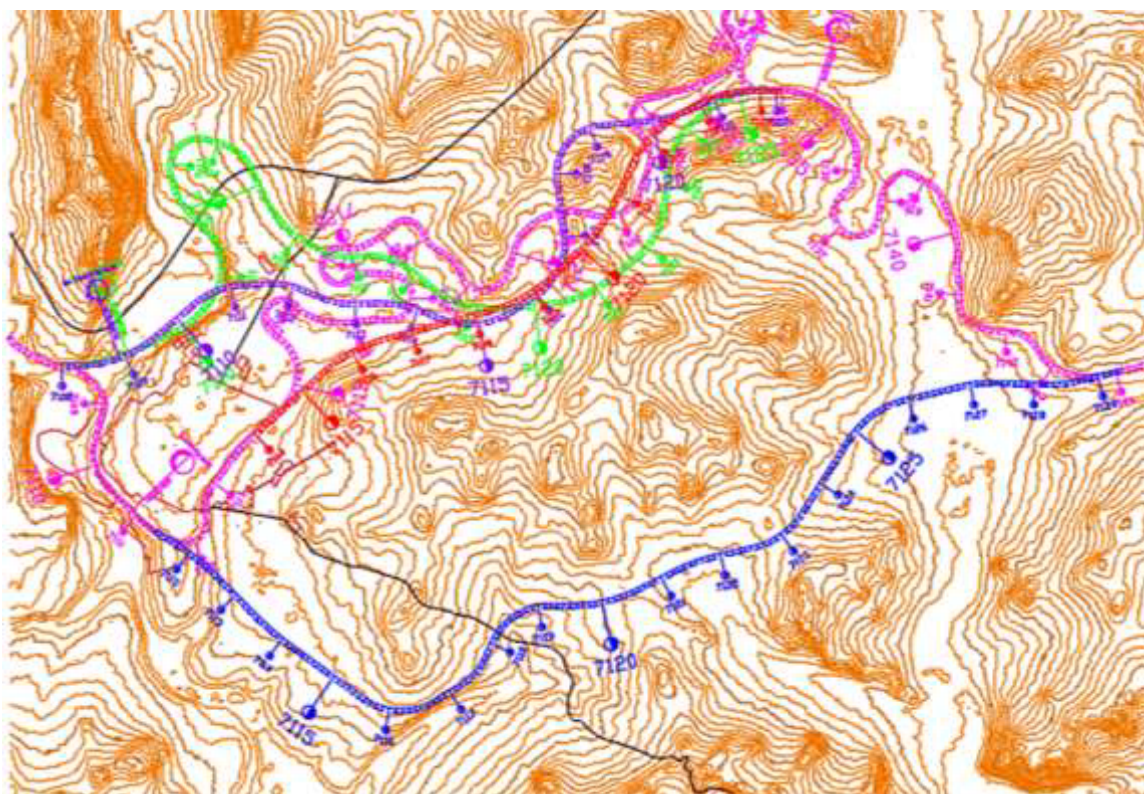
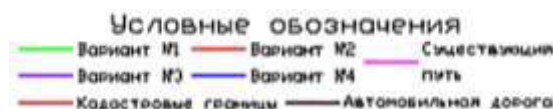


**Рис. 9.** Вариант спрямления кривых участков трассы железной дороги



В качестве экспериментального участка на кафедре СЖД ЗаБИЖТ был выбран участок Забайкальской железной дороги от ст. Горелый до ст. Сковородино, общей длиной 28 км, который находится в Сковородинской дистанции пути (ПЧ-12) в Амурской области.



Существующая железнодорожная линия от ст. Горелый имеет 4,36 км кривых со средним радиусом 758 м. Для её спрямления предложены два варианта.

Первый вариант включает примыкание к существующей трассе на км 7284 в прямом участке (рис. 10). На км 7293 проектируемая трасса пересекает существующую железную дорогу, переходя на правый берег реки Поема, затем направляется на восток и соединяется с существующим путем у ст. Сковородино. Конструкция двух мостов длиной около 200 м требуется для пересечения реки Большой Невер.

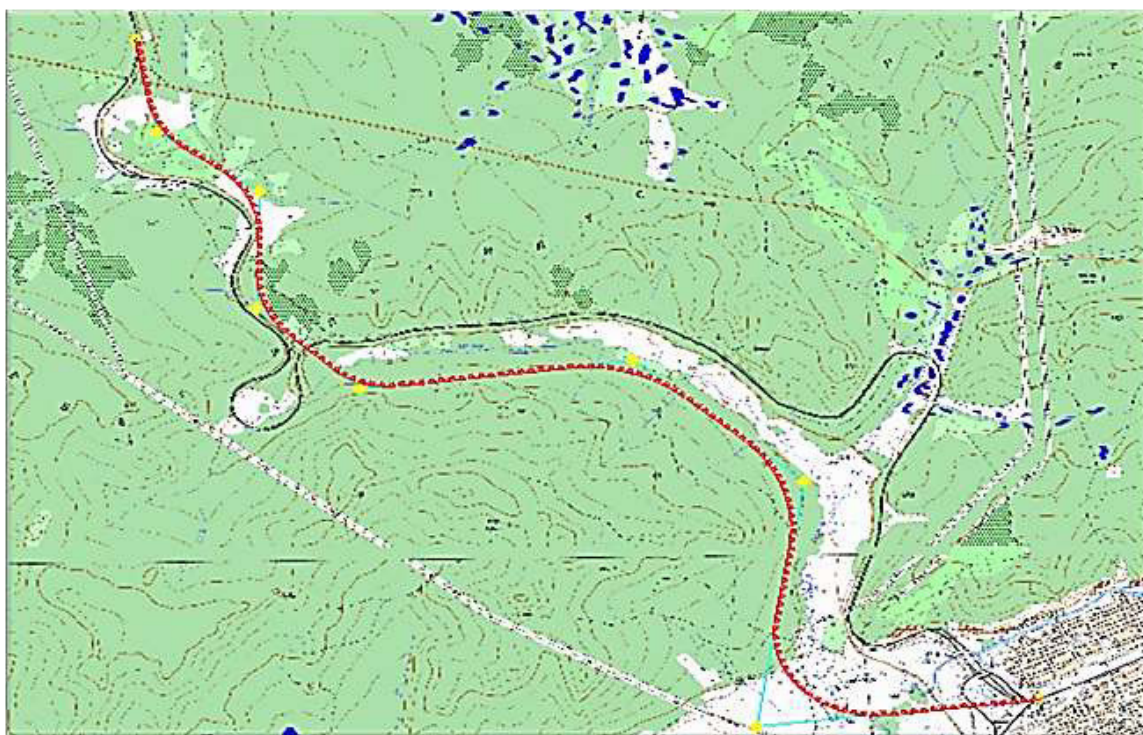


**Рис. 10.** План трассы спрямления участка на перегоне Горелый – Сковородино по первому варианту

Второй вариант предполагает примыкание на км 7289, где трасса начинает петлять (рис. 11). На км 7292 проектируемая трасса также пересекает существующую дорогу и проходит на правый берег реки Поема, после чего возвращается на левый берег и соединяется с существующим путем на км 7303 перед мостами через реку Большой Невер.

Анализ параметров обоих предложенных вариантов показал, что первый вариант является более приоритетным. Он обеспечивает движение тяжелых составов массой 7100 тонн без необходимости дополнительной тяги и позволяет достигать высоких скоростей.



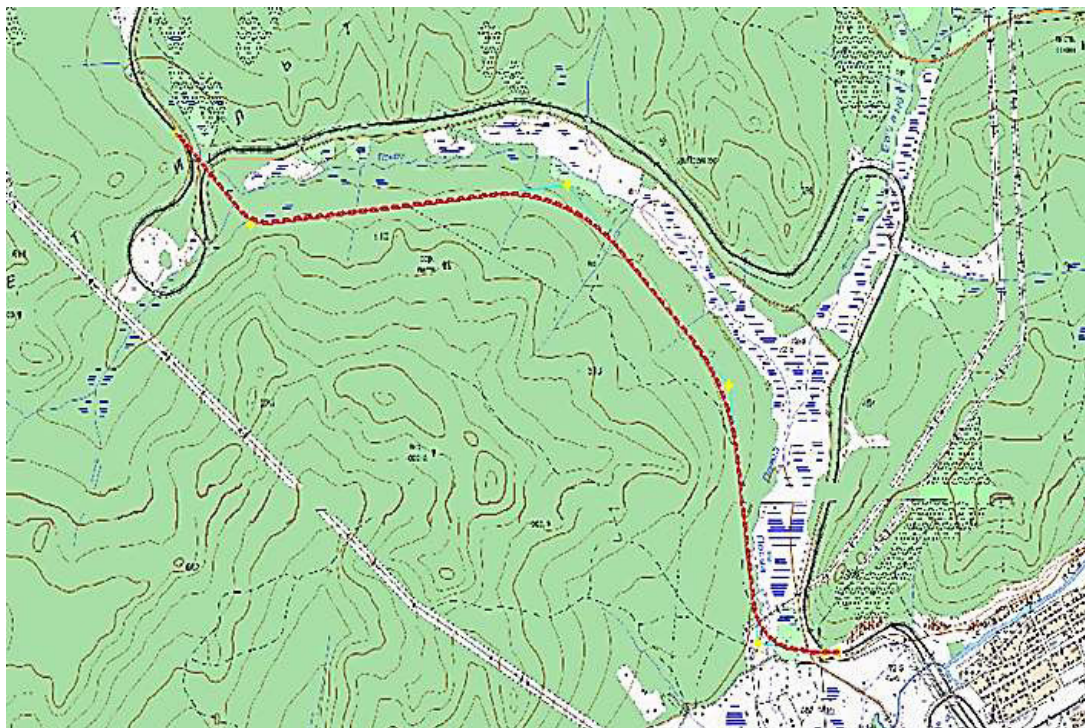


**Рис. 11.** План трассы спрямления участка  
на перегоне Горелый – Сковородино по второму варианту

**Закключение.** Проведенный в статье анализ существующего состояния Забайкальской железной дороги показывает необходимость комплексной реконструкции данного важного транспортного пути. Сложные инженерно-геологические условия, сложный рельеф местности, наличие крутых уклонов, малых радиусов кривых, петлеобразного развития трассы создают значительные ограничения для эффективной эксплуатации магистрали.

Предложен ряд вариантов реконструкции Забайкальского участка, рассмотрены конкретные проектные решения по оптимизации трассы на отдельных участках, такие как спрямления. Для каждого варианта дана оценка технико-экономических показателей, выявлены преимущества и недостатки.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что реализация мероприятий по реконструкции Забайкальского участка Транссибирской магистрали является крайне актуальной задачей.

Безусловно, внедрение предложенных решений потребует значительных капитальных вложений. Однако, учитывая экономический потенциал Забайкальского региона и растущие грузопотоки, в том числе международные, эти инвестиции будут оправданы и обеспечат высокую эффективность в долгосрочной перспективе.

В целом, комплексный подход к реконструкции Забайкальского участка магистрали, предложенный в данной статье, направлен на повышение надежности этого стратегически значимого транспортного коридора в условиях растущих требований к железнодорожным перевозкам.

*Библиографический список*

1. Иоаннисян, А. И. Улучшение трассы существующих железных дорог / А. И. Иоаннисян. – Москва : Транспорт, 1972. – 176 с. – Текст : непосредственный.
2. Кантор, И. И. Изыскания и проектирование железных дорог / И. И. Кантор. – Москва : ИКЦ «Академкнига», 2003. – 288 с. – Текст : непосредственный.
3. Линейцев, В. Ю. Имитационное моделирование деталей конического соединения на основе РК-3 профильных кривых / В. Ю. Линейцев, В. А. Ильиных. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 2 (46). – С. 51–55.
4. Тюпина, Ю. В. Чрезвычайные ситуации техногенного характера Забайкальского края 2014–2015 гг., в том числе на объектах железнодорожного транспорта / Ю. В. Тюпина, В. Ю. Линейцев. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Том 1. – С. 184–188.
5. Непомнящих, Е. В. Анализ элементов бесстыкового пути в сложных условиях Забайкальской железной дороги / Е. В. Непомнящих, Я. В. Ключков, С. Н. Афанасенко, К. А. Кирпичников, Ю. В. Евсеева. – Текст : непосредственный // Организация безопасности на транспорте : межвузовский сборник научно-методических трудов. – Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта, 2015. – С. 229–235.
6. Кирпичников, К. А. Проектирование организации строительства новой железнодорожной линии : учебное пособие по дисциплине «Организация, планирование и управление железнодорожным строительством» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», для студентов вузов региона / К. А. Кирпичников, Е. В. Непомнящих. – Чита : ЗаБИЖТ, кафедра СЖД ; ИрГУПС. – 2012. – 91 с. – Текст : непосредственный.
7. Линейцев, В. Ю. Определение объемов земляных работ при автоматизированном построении продольных профилей железных дорог в САД-системах / В. Ю. Линейцев, К. А. Кирпичников, К. Ю. Ворончихин, Е. В. Непомнящих. – Текст : непосредственный // Безопасность регионов – основа устойчивого развития. – 2012. – Том 1-2. – С. 319–325.

8. Линейцев, В. Ю. САПР-технологии при проектировании параметров пути / В. Ю. Линейцев. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Том 1. – С. 477–482.

9. Кирпичников, К. А. Анализ существующих методов прогнозирования развития полигонов железных дорог / К. А. Кирпичников. – Текст : непосредственный // Проблемы развития сети железных дорог : межвузовский сборник научных трудов / под редакцией В. С. Шварцфельда. – Хабаровск, 2006. – С. 39–44.

**В. И. Коннов, Н. М. Коллекер**

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЛОТКА С УЧЁТОМ ТЕПЛОПОТЕРЬ**

*В статье рассмотрен тепловой режим в лотковой части водоотводящего гидротехнического сооружения, расположенного в железнодорожной насыпи. Представлены теплотехнические расчёты, позволяющие определить длину закрытого лотка при прохождении по нему водного потока в суровых зимних условиях Забайкалья. Эти расчёты можно использовать при проектировании сооружений для безналедного пропуска воды в железнодорожных насыпях в зимний период. В работе рассмотрена методика, позволяющая выполнить расчёт длины лотка, служащего для отвода воды по нему под мостом без образования наледи в зимний период с учётом возможных максимальных теплопотерь.*

*Ключевые слова: лотки, тепловой режим, гидравлический режим, наледные потоки, водоотводные сооружения, теплотехнический расчёт.*

На Забайкальской железной дороге в зимний период года при пропуске воды под мостами образуются наледи [1–4]. Их значительный рост создает давление на конструкцию моста и может привести к деформациям его элементов (рис. 1). Изменение геометрических параметров гидротехнического сооружения снижает грузоперевозки из-за ограничения скорости движения грузовых и пассажирских поездов.

Для пропуска воды под мостом в зимний период года можно использовать закрытые лотки. Для исключения замерзания воды в лотках рекомендуется выполнять теплотехнические расчеты. Потери тепла в лотках определяются с учетом коэффициента теплоотдачи  $k$  [4].





**Рис. 1.** Наледные процессы под железнодорожным мостом в зимний период

Коэффициент теплоотдачи  $k$  вычисляется по формулам:

а) для полужакрытого лотка:

$$1/k_{\Gamma} = 1/a_1 + \delta_{\text{СТ}}/\lambda_{\text{СТ}} + 1/a_2, \quad (1)$$

б) для открытого лотка:

$$1/k_{\Gamma} = 1/a_1 + \delta_{\text{СТ}}/\lambda_{\text{СТ}} + 1/\beta. \quad (2)$$

где  $a_1$  – коэффициент теплоотдачи от воды к стенке,  $a_1 = 4 - 6$  ккал/м<sup>2</sup>·ч·град;  $\delta_{\text{СТ}}$  – толщина стенки лотка, м;  $\lambda_{\text{СТ}}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки лотка, ккал/м·ч·град; расчетные значения  $\lambda_{\text{СТ}}$  (материал насыщен водой) рекомендуется принимать: для дерева – 0,35; для бетона – 2,0, для камня – 2,75;  $a_2$  – коэффициент теплоотдачи

от оледеневшей стенки лотка в воздух (ккал/м·ч·град), определяется ориентировочно по формуле Девика:

$$\alpha_2 = 5 \sqrt{0,3 + v_{\Phi}/1,4} \quad (3)$$

$\beta$  – коэффициент теплоотдачи от стенки лотка в грунт (ккал/м<sup>2</sup>·ч·град), вычисляется по выражению, предложенному Форхгеймером:

$$\beta = \frac{\lambda_{\Gamma}}{r_0 \ln \left[ h_0/r_0 + \sqrt{(h_0/r_0)^2 - 1} \right]}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\Gamma}$  – коэффициент теплопроводности грунта, ккал/м·ч·град;  $h_0$  – глубина заложения канавы или лотка, м;  $r_0$  – радиус водоотводного устройства (м) при некруглой форме:

$$r_0 = 2\hat{\Omega}/K, \quad (5)$$

где  $\hat{\Omega}$  и  $K$  – соответственно площадь поперечного сечения (м<sup>2</sup>) и периметр сечения (м) водоотводного устройства.

Определив значения параметров  $B$ ,  $D$  и  $C$ , вычисляем длину  $L$  водоотводного устройства [4]. Если она окажется меньше требуемой длины устройства для пропуска наледного водотока за пределы искусственного сооружения, увеличивается глубина заложения устройства и расчет повторяется. Если же и при этом не получится величина требуемой длины устройства или заложение его окажется слишком глубоким, проектируется лоток (канавы) закрытого типа. Чаще бывает сочетание, когда в пределах наледного источника лоток устраивается полузакрытый, а на подходах к искусственному сооружению и в его пределах – закрытый тип (рис. 2).

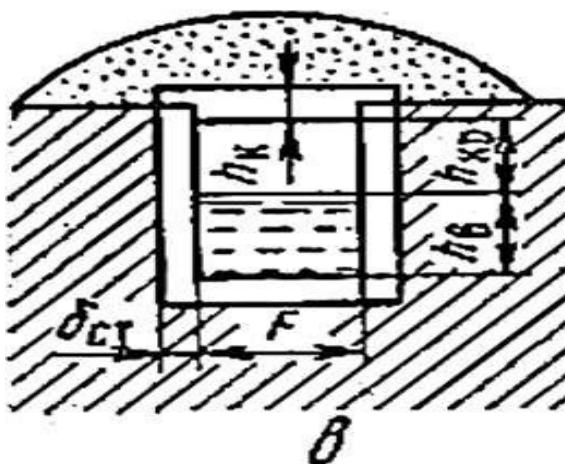


**Рис. 2.** Схема закрытого (в) лотка для пропуска воды в зимний период



Конструкция закрытых лотков и канав (в том числе и тепловых поясов) назначается исходя из условия, что в пределах лотка (канавы) искусственным путем создается зона с нулевой температурой (талик).

Это условие обеспечивается за счет соблюдения следующих требований при проектировании:

а) лоток (канавка) заглубляется в грунт не более чем на  $H_{от} - (0,4 + 0,5)$  м, где  $H_{от}$  – максимальная глубина оттаивания грунта в данном районе;

б) сверху лотка в начале зимы создается мощный слой теплоизоляции на ширину (от оси лотка) не менее  $F/2 + (2,5 - 3,0)$  м, где  $F$  – ширина лотка.

При соблюдении этих требований толщина теплоизоляционного перекрытия назначается следующим образом:

1) определяется значение коэффициента  $k_{воз}$  по формуле:

$$k_{воз} = 8431 \frac{QJ}{F(t_b - t_{воз})}, \quad (6)$$

где  $k_{воз}$  – коэффициент теплопередачи от воды к воздуху через многослойное перекрытие, ккал/м<sup>2</sup>·ч·град;  $t_b$  – температура воды наледного потока, °С;

2) вычисляется термическое сопротивление перекрытия  $R = 1/t_{воз}$ ,

а затем толщина слоя теплоизоляции из снега или другого материала по формуле:

$$R = 1/a_{кр} + h_{кр}/\lambda_{кр} + h_k/\lambda_k + h_{сн}/\lambda_{сн} + 1/a_3, \quad (7)$$

где  $a_{кр}$  – коэффициент теплоотдачи от воды к воздушной прослойке между водой и перекрытием (ккал/м<sup>2</sup>·ч·град),  $a_{кр} = 4 \div 6$  ккал/м<sup>2</sup>·ч·град;  $h_{кр}$ ,  $h_k$ ,  $h_{сн}$  – соответственно толщина воздушной прослойки, крышки лотка и слоя теплоизоляции из снега или другого материала, м;  $\lambda_{кр}$ ,  $\lambda_k$  и  $\lambda_{сн}$  – соответственно коэффициенты теплопроводности воздушной прослойки, материала крышки лотка и теплоизоляционного слоя, ккал/м<sup>2</sup>·ч·град;  $a_3$  – коэффициент теплоотдачи от снега (или другого теплоизоляционного материала) в воздух (ккал/м<sup>2</sup>·ч·град), определяется по формуле:

$$a_3 = 20 \sqrt{0,3 + v_{\phi}/1,4}. \quad (8)$$

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности рекомендуется принимать (ккал/м<sup>2</sup>·ч·град): для прослойки – 0,1; для древесины – 0,35; для снега – согласно справочной литературе. Если слой теплоизоляции из снега устраивается искусственным путем (надвижкой бульдозерами и т.д.), то плотность его принимается в пределах 0,3–0,4 г/см<sup>3</sup>.

Если толщина теплоизоляционного слоя из снега получится значительной, то нужно изменить конструкцию лотка, увеличив глубину его заложения и сделав перерасчет толщины слоя теплоизоляции по формуле (7). Для новой глубины заложения делается перерасчет и длины полузакрытой или закрытой части лотка. Рассмотренную методику можно использовать для проектирования водоотводных сооружений в Забайкалье.

#### *Библиографический список*

1. Коннов, В. И. Экологическая оценка и мероприятия по защите от загрязнения малых рек Восточного Забайкалья : научное издание / В. И. Коннов. – Чита : ЧитГУ, 2006. – 126 с. – Текст : непосредственный.
2. Качество жизни населения и экология : монография / под общей редакцией Л. Н. Семерковой. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – 140 с. – Текст : непосредственный.
3. 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.
4. 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 Геогр. Об-ва СССР. – Чита. – Вып. 92. – 1973. – С. 7–98.

**В. И. Коннов, В. Ф. Юдина**

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

### **БЕЗНАЛЕДНЫЙ ПРОПУСК ВОДЫ В НАСЫПЯХ**

*В статье рассмотрены наледные процессы, происходящие при промерзании ручьёв и водотоков. Эти процессы должны быть учтены при проектировании сооружений для безналедного пропуска воды в железнодорожных насыпях в зимний период. В работе рассмотрена методика, позволяющая выполнить расчёт длины лотка, служащего*

*для отвода воды по нему под мостом без образования наледи в зимний период с учётом возможных максимальных теплопотерь.*

*Ключевые слова: наледные потоки, тепловой режим, водоотводные сооружения, теплотехнический расчёт, гидравлический режим, лотки.*

На Забайкальской железной дороге имеется значительное количество малых мостов, расположенных в насыпи. Они служат для пропуска потока воды ручьев и малых рек. В зимний период под ними развиваются наледные процессы, приводящие к росту наледи и закупорке отверстий малых мостов (рис. 1).



**Рис. 1.** Образование наледи под железнодорожным мостом

Наледные процессы вызывают подъемку устоев моста в зимний период и их просадку в теплый период года. Это приводит к ограничению скорости поездов и снижению грузоперевозок [1–4].

В научных исследованиях различных ученых в районах с суровым климатом для пропуска наледных потоков в зимний период рекомендуется устраивать специальные безнапорные водоводы в виде канав открытого и закрытого типов, открытых, полужакрытых и закрытых лот-

ков, металлических или бетонных труб, укладываемых в теле фундаментов искусственных сооружений, углубленных и утепленных русел и т.п. Работа этих устройств основана на пропуске по ним воды без замерзания в течение всего зимнего периода. Важнейшее значение при этом имеют тепловые расчеты, позволяющие определить в каждом конкретном случае изменение температуры воды по длине в зависимости от климатических и гидрогеологических условий района строительства, конструкции сооружения, свойств, применяемых для его устройства материалов и т.п.

Используя результаты теоретических и натурных исследований этих авторов, применим методику расчета теплового режима устройств и сооружений для безналедного пропуска водотоков на Забайкальской железной дороге [1–4].

Размеры сооружений дорожного водоотвода назначают на основании гидравлического расчета.

Если для отвода наледной воды в зимний период используют обычные водоотводные дорожные сооружения или устраивают специальные сооружения, то конструкцию их уточняют (I случай) или назначают (II случай) на основании теплотехнического расчета.

Рекомендуется три варианта проектирования устройств для отвода наледной воды (рис. 2): а) открытый лоток; б) полужакрытый лоток (канавы); в) закрытый лоток (канавы).

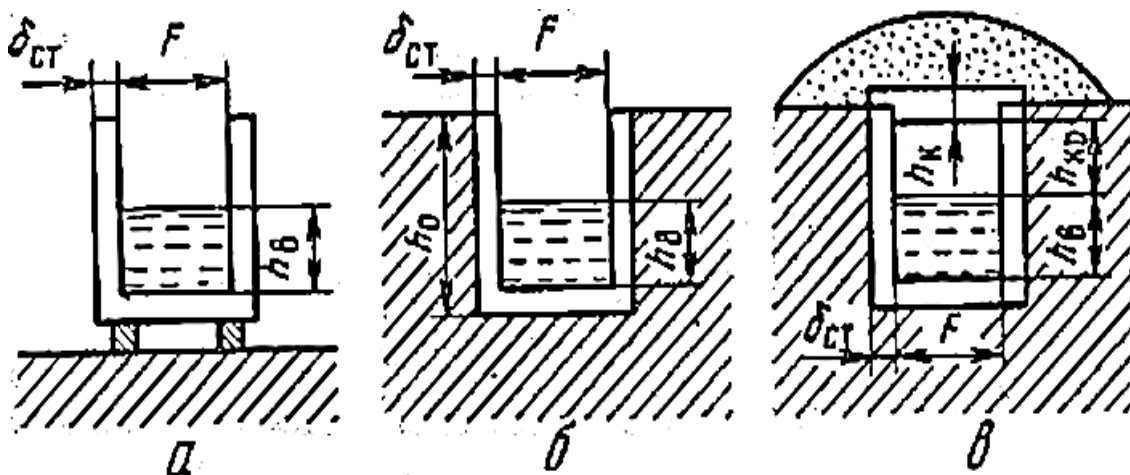


**Рис. 2.** Схемы открытого (а), полужакрытого (б) и закрытого (в) лотков.

Буквенные обозначения см. в формулах (2) – (6)

Возможность устройства открытого, полужакрытого или закрытого лотка устанавливается расчетом с учетом требуемой длины лотка, природно-климатических условий района строительства, температурного и гидравлического режимов наледного потока.

Конструкция открытых и полужакрытых лотков назначается из условия допущения максимально возможных потерь тепла по длине водотока с использованием уравнения [4].

$$\ln \frac{B-Dt_B}{B-Dt_3} = \frac{DL}{C}, \quad (1)$$

где  $t_B$  – температура воды наледного потока при выходе его на дневную поверхность, замеренная в наиболее холодный месяц зимнего периода с точностью до одной десятой градуса, °C;  $t_3$  – температура замерзания наледной воды, °C;  $B, D, C$  – параметры, определяемые по формулам:

$$\begin{aligned} B &= 8431QJ + aFt_{\text{воз}} + \Phi, \\ D &= aF + k_{\Gamma}, \\ C &= 3600000Q, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $Q$  – расход наледного потока, м<sup>3</sup>/сек;  $J$  – продольный уклон канавы (лотка);  $a$  – коэффициент, теплопередачи от водного потока значительной мощности в воздух, ккал/м<sup>3</sup>·ч·град, определяемый по формуле (Коновалов и др., 1952):  $a = 4,8 + v_{\phi}$ ;  $v_{\phi}$  – скорость ветра по флюгеру ближайшей метеорологической станции (м/сек), определяется по климатическим справочникам; принимается как максимальная среднемесячная скорость ветра за зимний период;  $F$  – ширина канавы или лотка на уровне наледного потока, м;  $t$  – температура воздуха, °C, определяется по климатологическим справочникам как средняя за наиболее холодный месяц зимнего периода;  $\Phi$  – теплопотери в грунт или воздух через стенки лотка, ккал/м·ч.

Величина  $\Phi$  находится по формулам:

а) для открытого лотка:

$$\Phi = k_{\Gamma}F_{\Gamma}t_{\text{воз}}; \quad (3)$$

б) для полужакрытого лотка:

$$\Phi = k_{\Gamma}F_{\Gamma}t_{\Gamma}, \quad (4)$$

где  $k_{\Gamma}$  – коэффициент теплоотдачи, ккал/м<sup>2</sup>·ч·град;  $F_{\Gamma}$  – периметр смоченного лотка, м;  $t_{\Gamma}$  – температура грунта в естественных условиях на глубине заложения лотка (канавы) в наиболее холодный месяц зимнего периода, устанавливается на основании данных изысканий.



Периметр смоченного лотка  $F_{\Gamma}$  определяется по формуле:

$$F_{\Gamma} = 2h_B + F, \quad (5)$$

где  $h_B$  – толщина слоя воды в лотке, м.

Величина  $h_B$  находится из уравнения:

$$F = \sqrt{J} h_B^{1,5(1+\sqrt{n})} = Qn, \quad (6)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости дна лотка (канавы), устанавливаемый по справочной литературе.

Таким образом, конструкцию открытых, полужакрытых и закрытых лотков можно назначить по формулам (1) – (6) с учетом соблюдения условия допущения максимально возможных потерь тепла по длине водотока. При этом необходимо определить теплопотери в грунт или воздух через стенки лотка, учитывая коэффициент теплоотдачи  $k_{\Gamma}$ .

#### *Библиографический список*

1. Коннов, В. И. Экологическая оценка и мероприятия по защите от загрязнения малых рек Восточного Забайкалья : научное издание / В. И. Коннов. – Чита : ЧитГУ, 2006. – 126 с. – Текст : непосредственный.
2. Качество жизни населения и экология : монография / под общей редакцией Л. Н. Семерковой. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – 140 с. – Текст : непосредственный.
3. 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.
4. 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 Геогр. об-ва СССР. – Чита. – Вып. 92. – 1973. – С. 7–98.

*Н. А. Медведева, В. С. Шварцфельд*

*Петербургский государственный университет путей сообщения,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **КОНФИГУРАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В МАЛООСВОЕННЫХ РЕГИОНАХ**

*В статье описывается порядок поиска оптимального подбора конфигурации сети железных дорог в малоосвоенных регионах через рассмотрение множества начертаний железнодорожных линий и параметров, описывающих как сами линии, так и перспективные транспортные сети. Поиск критериев осложнён тем, что начертание сети должно включать в себя учёт оптимального порядка освоения точек топологии малоосвоенных регионов (районов). По итогу исследования приведены параметры сетей и железнодорожных линий, которые всесторонне охватывают процесс поиска оптимального начертания сети и его анализ как объекта исследования.*

*Ключевые слова: топология сети железных дорог, малоосвоенные регионы, развитие сети.*

В России многие территории остаются малоосвоенными и труднодоступными. Особенно это касается удаленных регионов Сибири, Дальнего Востока и некоторых северных областей. Эти места привлекают внимание своей уникальной природой, богатством ресурсов и культурным наследием, однако транспортная доступность часто становится серьезным препятствием для их освоения и развития. В большинстве случаев, дороги в таких регионах либо отсутствуют, либо находятся в плохом состоянии. Зимой многие маршруты становятся практически непроходимыми из-за снега и морозов. Малоосвоенные регионы известны низкой транспортной доступностью, слабым ростом производства, уменьшающимся с каждым годом объемом населения, безработицей, невозможностью обеспечить социально-экономическое развитие региона и другое.

В некоторых случаях, для достижения отдаленных населенных пунктов необходимо использовать авиацию или речной транспорт, что значительно увеличивает стоимость поездок и грузоперевозок. Несмотря на эти трудности, в последние годы наблюдается рост интереса к развитию инфраструктуры в таких регионах. Государственные программы и частные инвестиции направлены на улучшение транспортной сети, строительство новых дорог и модернизацию существующих. Это открывает новые возможности для экономического роста, развития туризма

и улучшения качества жизни местного населения. Однако, для полноценного освоения этих территорий необходимо учитывать как транспортные аспекты, так и экологические, культурные и социальные факторы. Устойчивое развитие должно стать приоритетом, чтобы сохранить уникальную природу и культуру этих регионов, одновременно обеспечивая доступность и комфорт для населения.

Транспортная доступность играет ключевую роль в экономическом развитии регионов. Она обеспечивает связь между различными населёнными пунктами, что способствует не только перемещению людей, но и эффективному обмену товарами и услугами. Хорошо развитая транспортная инфраструктура позволяет бизнесу снижать затраты на логистику, что, в свою очередь, делает товары более доступными для потребителей.

Кроме того, транспортная доступность способствует привлечению инвестиций. Регион с развитой сетью дорог, железных дорог и аэропортов становится более привлекательным для инвесторов, так как это снижает риски и увеличивает возможности для ведения бизнеса. Инвесторы чаще выбирают те регионы, где есть возможность быстро и удобно доставлять продукцию на рынок.

Также важно отметить, что транспортная доступность влияет на уровень жизни населения. Хорошая транспортная инфраструктура облегчает доступ к образовательным учреждениям, медицинским услугам и культурным мероприятиям. Это способствует повышению качества жизни и, как следствие, увеличению трудоспособного населения в регионе.

На рис. 1 отображены наиболее важные железные дороги Российской Федерации: как известно, значительные территории не охвачены железнодорожным сообщением (Республика Тыва, Магаданская область, Камчатский край, Чукотский автономный округ). Сопутствует дефицит пропускной способности в восточном направлении. Средняя плотность пролегания железнодорожных путей составляет 1,7 км на 1 тыс. кв. км территории, что существенно уступает среднероссийскому показателю – 5 км на 1 тыс. кв. км территории [1].

Известно, что железнодорожное сообщение расширяет географию пассажиро- и грузоперевозок, способно обеспечить новые рабочие места, особенно на малодоступных территориях.

Для более оптимального развития мы рассматриваем сетевое размещение железных дорог, где несколько точек освоения (например, добыча месторождений, переработка добываемых полезных ресурсов), соединенных одной общей сетью железных дорог, которое примыкает к существующим линиям.



Рис. 1. Схема железных дорог РФ [2]

В исходных данных у нас имеются малоосвоенные территории – регионы, районы, варианты начертания железнодорожных линий и их характеристики ( $R_{jp}$ ), которые между собой соединяют имеющиеся на рассматриваемых территориях точки развития (месторождения, очаги полезных ископаемых, ресурсодобывающая промышленность) с их объемами добычи в год, с существующей сетью страны. Также имеются коэффициенты важности ( $\lambda_p$ ), выбранные экспертным путем.

Из имеющихся линий железных дорог, подобранных методом центральной точки для более оптимального и объективного размещения звена транспортной системы, в предыдущих работах собраны сети железных дорог, описывающих малоосвоенный регион. После, по тому же методу по критериям, которые авторы выбрали как наиболее значимыми, происходит подбор наилучшего размещения топологии.

Критерий подбора в данном исследовании вписывается в формулу (1):

$$F_j = \sum_{p=1}^P r_{jp} \cdot \lambda_p \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $R_{jp}$  – параметры подбора, а именно расчетная длина железнодорожной линий, км, количество малых водопропускных сооружений, шт, суммарная длина для средних и больших мостов, м, площадь полосы от-

вода, га, объем земляных работ, тыс. м<sup>3</sup>, грузооборот, и др.; при нормализации принимает вид  $r_{jp}$ .

$\lambda_p$  – коэффициент важности; причем  $\sum \lambda_p = 1$ .

Сначала перебор нормализованными критериями [3] происходит для каждой линии, т.к. вариантов начертания, как правило, делается несколько. Потом из отобранных линий составляются сети железных дорог, которые также подвергаются отбору по тем же нормализованным критериям, кроме грузооборота, который рассчитывается на каждую сеть отдельно.

Авторы рассматривали также критерии для максимального веса вагонного состава, тип локомотива, руководящий уклон, длину тоннелей [4], приведенные затраты. Первые критерии выходят из расчета, так как сеть как в реальности, так и в теории, будет единой в этих вопросах, объединять между собой несколько точек освоения. Приведённые затраты трудно учесть, так как объемы перевозок могут меняться, а линии, которые мы рассматриваем, сделаны для объема перевозок, который способна обеспечить однопутная линия с видами раздельных пунктов – разъездами. Задача рассмотреть усиление перспективных проектируемых сетей на данный момент является достаточно трудоемкой. А также на неосвоенных территориях нецелесообразно строить сразу двухпутные железнодорожные линии, поскольку нам также нужно учесть в последующих исследованиях начало ввода к эксплуатации ( $t_{jp}$ ) станций-примыканий к месту производства, разработки месторождений и т.д.

В статике мы можем рассмотреть вариант с одновременным запуском строительства железных дорог, т.е. сеть будет возведена сразу в полной конфигурации. Узел примыкания к существующей сети один; на рис. 2 показаны варианты начертаний сети, где есть как варианты без вспомогательных станций (узлы А, 1, 2, 3) – сети 1, 2, 4-7, 9, 10, так и с вспомогательным узлом В (сети 3,8) [5]. Второй вариант мы на данный момент исключаем, так как очевидно, а также проверено расчетами, что в первом приближении такие сети включают в себя и большую длину путей, и большую нагрузку на короткие линии, и строительство дополнительной станции.

При проведении расчета мы получаем варианты, которые преимущественно ориентированы на наименьшее расстояние. Мы должны учитывать, что варианты рассчитаны на нагрузку для однопутных дорог. При варианте, когда груз перевозится напрямую от узла сети до существующей станции – железная дорога способна обеспечить максимальный грузооборот. Но когда линия принимает на себя увеличенную нагрузку при иных конфигурациях, то необходимо пересчитывать воз-



можные пропускную и провозную способность, чтобы убедиться в возможности перевозки заданного объема груза. В противном случае необходимо предусмотреть усиление звена сети и увеличение капитальных и эксплуатационных затрат.

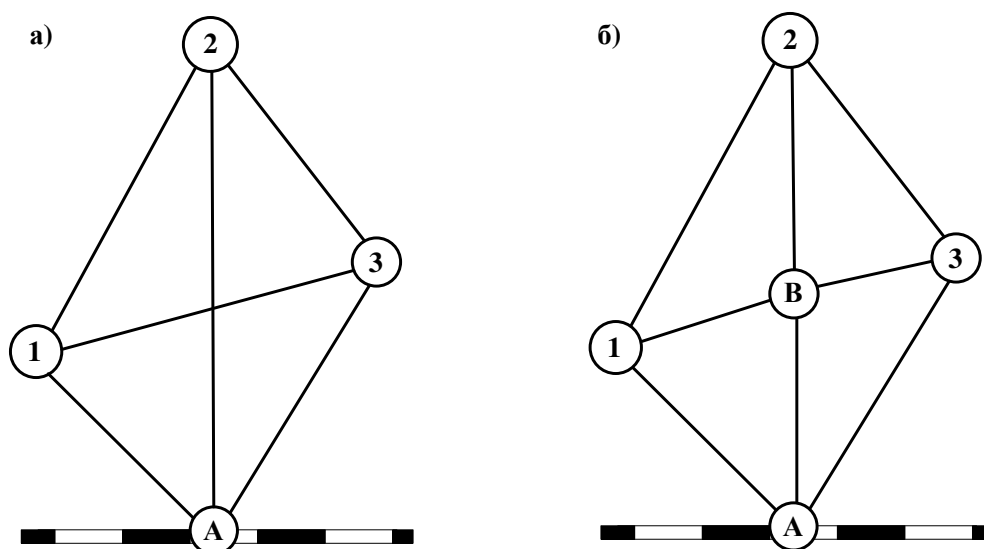


Рис. 2. Варианты расчетных схем

Одна из самых труднорешаемых задач заключается в распределении груза по звеньям рассматриваемых сетей. В некоторых вариантах начертания практически весь объем грузоперевозок приходится хотя бы на одно звено. Отсюда вытекает потребность в прогнозе распределения грузопотока для избежания скорого увеличения мощности, если не изначально усиленного возведения железнодорожной линии, такого, как двухпутной трассы, двухпутной вставки, дополнительных разъездов (авторы рассматривают однопутные перегоны, т.к. регионы (районы) являются малоосвоенными). Критерий грузооборота ( $R_{7i}$ ) помогает обеспечить более рациональное распределение объемов перевозки по сети. В ином случае, без учета данного критерия сеть составляется таким образом, что самый рациональный вариант будет включать себя звено с максимальным грузооборотом, а значит, будет подразумевать усиление мощности линии, ее скорую модернизацию во времени, увеличение затрат на строительство и эксплуатацию.

Критерий объема земляных работ способен показать нам равновесие между стоимостью строительства и ее техническими параметрами для дальнейшей эксплуатации, т.к. этот критерий в реализации будет подразумевать наибольшие объемы денежных вложений и сроки строительства.

Для наглядности мы можем сравнивать сети (рис. 3) первая (5) из которых создана с помощью наименьших приведенных затрат по каждому звену и вторая (2), которая получается в результате нашего подбора. Конечно, по затратам выходит, что первый вариант подходит по экономическим соображениям. Но вторая сеть по суммарной протяженности сети меньше первой, оптимальнее располагается между звеньями сети – меньше создает перегруженных звеньев, что подразумевает не такое скорое усиление линии, как в первом варианте.

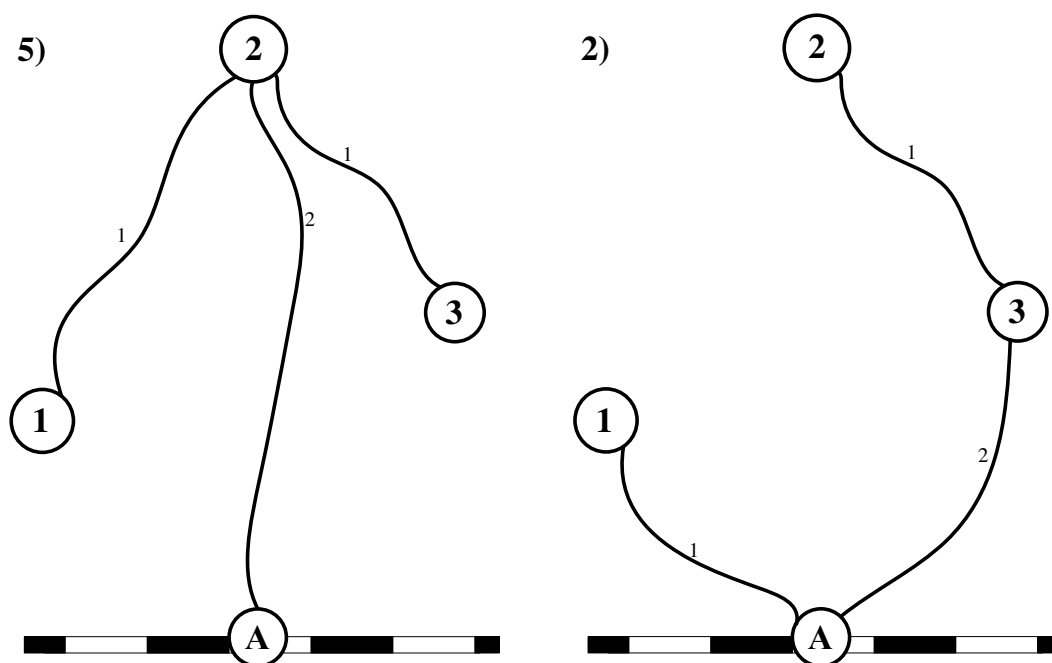


*Рис. 3. Сравнимые варианты*

### *Библиографический список*

1. Ивашин, К. П. Транспортная инфраструктура востока России / А. С. Ивашин, К. П. Сокол. – Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации : журнал о науке, практике, экономике. – 2012. – № 2 (39). – С. 22–26.
2. Схема железных дорог Российской Федерации / ru.wikipedia.org. – URL : [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Russia\\_Rail\\_Map-ru.svg?uselang=ru](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Russia_Rail_Map-ru.svg?uselang=ru) (дата обращения: 17.10.2024). – Текст : электронный.
3. Медведева, Н. А. Формирование и отбор вариантов топологии сети железных дорог в малоосвоенных регионах / Н. А. Медведева, В. С. Шварцфельд. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2023. – № 3 (55). – С. 66–73.

4. Подвербный, В. А. Многокритериальный выбор направления проектируемой железной дороги / В. А. Подвербный, В. В. Казарина. – Текст : непосредственный // Транспортное строительство. – 2019. – № 3. – С. 2–5. EDN HCYQSH.

5. Медведева, Н. А. Многокритериальный подход к отбору вариантов создания сети железных дорог / Н. А. Медведева, В. С. Шварцфельд // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2024. – Том 21, вып. 2. – С. 398–408. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-398-408.

**Е. М. Наговицына**

*Оренбургский институт путей и сообщений –  
филиал ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет  
путей сообщения»,  
г. Оренбург, Россия*

### **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЁТОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КРИВЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТАТИСТИКИ**

*Работа посвящена разработке новых подходов к оптимизации расчётов в проектировании кривых железных дорог с использованием методов статистики и анализа данных. Авторы предлагают использовать современные статистические инструменты для улучшения точности и эффективности расчётов, что позволит снизить затраты на строительство и эксплуатацию железных дорог. Работа акцентирует внимание на важности статистического анализа данных для улучшения качества проектирования кривых железных дорог, а также на демонстрации эффективности предложенных методов на реальных данных. В целом, данная работа может быть интересна специалистам в области транспортного строительства, инженерам-конструкторам.*

*Ключевые слова: статистика, кривые железных дорог, оптимизация, аппроксимация.*

Проектирование кривых железных дорог является сложным и трудоемким процессом, требующим глубоких знаний в области инженерии, математики и статистики. Основная задача проектирования – обеспечить безопасность движения, экономичность и удобство для пассажиров и грузов. Для достижения этих целей используются различные методы

и техники, включая статистические методы, которые позволяют оптимизировать расчеты и повысить качество проектирования.

Статистические методы в проектировании кривых железных дорог позволяют учитывать различные факторы, влияющие на безопасность движения и экономичность. Например, при расчете радиуса кривизны необходимо учесть скорость поездов, типы вагонов и характеристики пути. Использование статистических методов позволяет прогнозировать вероятность возникновения различных иных ситуаций и принимать меры для их устранения.

Одним из основных статистических методов, используемых в проектировании кривых железных дорог, является метод наименьших квадратов (МНК). Этот метод позволяет оценить параметры кривой на основе измеренных данных и минимизировать сумму квадратов отклонений. МНК используется для оценки радиуса кривизны, угла наклона пути и других параметров, необходимых для создания безопасной и эффективной железнодорожной инфраструктуры. МНК часто используется при расчете кривых на железной дороге для аппроксимации и анализа данных измерений. Этот метод позволяет найти линию, которая наилучшим образом соответствует набору точек данных, минимизируя сумму квадратов расстояний от каждой точки до линии. В случае расчета кривых на железной дороге, метод наименьших квадратов может использоваться для подгонки кривых к известным данным о геометрии пути.

Предположим, что у нас есть набор данных о геометрии кривой на железной дороге, например, координаты точек кривой. Мы хотим подобрать уравнение кривой, которое наилучшим образом соответствует этим данным.

Для простоты рассмотрим случай аппроксимации кривой методом наименьших квадратов с использованием квадратичной функции вида по формуле (1):

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – коэффициенты, которые мы хотим определить.

Для применения метода наименьших квадратов мы минимизируем сумму квадратов разностей между реальными значениями  $y_i$  и предсказанными значениями  $\hat{y}_i$  на основе нашей модели по формуле (2):

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (2)$$

где  $n$  – количество точек данных.

Минимизация этой суммы квадратов позволяет нам найти оптимальные значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$ , которые лучше всего описывают наши данные.

После того, как мы найдем оптимальные значения коэффициентов, мы можем использовать уравнение кривой  $y = ax^2 + bx + c$  для предсказания значений ( $y$ ) на основе заданных значений ( $x$ ) на железной дороге (Таблица).

*Таблица*

|           |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Проектные | 0 | 3 | 11 | 21 | 29 | 37 | 39 | 39 | 39 |
| Расчетные | 0 | 2 | 10 | 20 | 30 | 38 | 40 | 40 | 40 |
| Натурные  | 2 | 5 | 5  | 30 | 15 | 45 | 36 | 37 | 51 |

При расчете кривых на железной дороге метод наименьших квадратов может использоваться для определения параметров кривизны и радиуса кривой. Для этого обычно собираются данные о положении путей, измерениях уклонов и других параметрах, после чего эти данные обрабатываются с помощью метода наименьших квадратов для построения кривых и определения оптимальных параметров.

Другой важной статистической техникой в проектировании кривых железных дорог является использование нормального распределения. Нормальное распределение используется для прогнозирования вероятности возникновения различных негативных ситуаций, таких как сход с рельсов, застревание вагонов и другие. Использование нормального распределения позволяет оценить вероятность возникновения каждой из этих ситуаций и принимать меры для их устранения. При проектировании кривых железных дорог, инженеры иногда используют нормальное распределение для моделирования и анализа различных параметров, таких как радиус кривой, скорость движения поездов, нагрузка на рельсы и т.д. Нормальное распределение, или гауссовское распределение, является одним из наиболее часто используемых в статистике и математическом моделировании благодаря своей простоте и универсальности.

При проектировании кривых железных дорог, инженеры могут использовать нормальное распределение для следующих целей:

1. Оценка параметров кривой: Нормальное распределение может быть использовано для оценки статистических параметров кривой, таких как среднее и стандартное отклонение радиуса кривой, которые могут быть полезны при выборе оптимального радиуса кривой для данного участка железной дороги.

2. Анализ нагрузок на рельсы и шпалы: Нормальное распределение может быть использовано для моделирования нагрузок на рельсы



и шпалы, возникающих при прохождении поездов через кривые. Это позволяет оценить вероятность превышения предельных нагрузок и выбрать подходящие конструктивные материалы и методы укрепления.

3. Оценка влияния радиуса кривой на движение поездов: Нормальное распределение может быть использовано для оценки влияния радиуса кривой на скорость движения поездов, ускорение и сила инерции, возникающие при прохождении поездов через кривые. Это позволяет выбрать оптимальный радиус кривой для обеспечения комфортного и безопасного движения поездов.

4. Оценка влияния радиуса кривой на эксплуатационные характеристики: Нормальное распределение может быть использовано для оценки влияния радиуса кривой на эксплуатационные характеристики железной дороги, такие как износ рельсов и шпал, энергопотребление, износ колёс поездов и т.д. Это позволяет выбрать оптимальный радиус кривой для обеспечения долговечности и экономичности железной дороги.

В целом, использование нормального распределения в проектировании кривых железных дорог позволяет инженеру провести более точный и объективный анализ различных параметров кривой и выбрать оптимальное решение для данного участка железной дороги.

Кроме того, статистические методы используются для оценки влияния различных факторов на безопасность движения и экономичность. Например, при проектировании кривых железных дорог необходимо учитывать влияние таких факторов, как скорость поездов, типы вагонов, характеристики пути и другие. Использование статистических методов позволяет оценить влияние каждого из этих факторов и принимать меры для их оптимизации.

В целом, статистические методы играют важную роль в проектировании кривых железных дорог. Они позволяют оптимизировать расчеты и повысить качество проектирования, обеспечивая безопасность движения, экономичность и удобство для пассажиров и грузов. В будущем ожидается дальнейшее развитие и использование статистических методов в проектировании кривых железных дорог, что позволит достичь новых высот в области железнодорожного строительства и обслуживания.

#### *Библиографический список*

1. Адер, А. В. Особенности автоматизации анализа и оценки производственных рисков / А. В. Адер, М. В. Рогозин // Проблемы и перспективы внедрения инновационных телекоммуникационных технологий : сборник материалов V Международной научно-практической очно-заочной конференции, Оренбург, 22 марта 2019 года / Главный редак-

тор А. В. Кирьякова. – Оренбург : Оренбургский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 2019. – С. 3–5. – EDN AAACLA. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37623297>. – Текст : электронный.

2. Железнодорожный путь. Расчёты и проектирование : учебно-методическое пособие / С. А. Косенко, И. А. Котова, И. В. Никитин, И. К. Соколовский ; под редакцией С. А. Косенко. – Новосибирск : СГУПС, 2021. – 115 с. – ISBN 978-5-00148-217-8. – Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL : <https://e.lanbook.com/book/270881> (дата обращения: 20.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Щербацкий, М. О. Организационно-технологические схема строительства / М. О. Щербацкий, А. В. Адер // Техника и технологии наземного транспорта : материалы Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 15 декабря 2021 года. – Нижний Новгород : филиал СамГУПС в г. Нижнем Новгороде, 2022. – С. 128–133. – EDN WVVNZW. – Текст : электронный.

**Е. В. Непомнящих, К. А. Кирпичников**  
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,  
г. Чита, Россия*

### **УЧЁТ ПРОЦЕССОВ НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ**

*В статье рассмотрены процессы наледеобразования при эксплуатации транспортных сооружений в Забайкальском крае. Описываются проблемы, связанные с эксплуатацией железной дороги в сложных мерзлотных условиях.*

*Забайкальская железная дорога является самой грузонапряжённой, проходя по территории с многолетней мерзлотой. Это приводит к образованию различных мерзлотных форм рельефа, которые оказывают негативное влияние на состояние железной дороги.*

*Рассмотрена железная дорога «Нарын – Лугокан», которая эксплуатируется во временном режиме. Именно эта дорога стала объектом исследования наледеобразования. Были изучены участки наледеобразования на инженерных сооружениях железной дороги «Нарын – Лу-*

гокан». Главная цель данного исследования – оценка состояния устройств инфраструктуры железной дороги на участках наледеобразования, исследование границ наледей, точек выхода грунтовых вод, отметок поверхности наледей.

*Ключевые слова:* наледеобразование, многолетняя мерзлота, наледи, Забайкальская железная дорога, транспортные сети, эксплуатация.

Проблеме развития транспортных сетей, в том числе и полигонов железных дорог в нашей стране в последнее время пристальное внимание. Прежде всего это освоение новых рынков сбыта, расширения списка поставщиков и производителей широкого спектра товаров, комбинирование различных видов перевозок.

Забайкальская железная дорога, находясь в суровых климатических условиях, активный участник этих процессов, в настоящее время – самая грузонапряженная железная дорога мира. Магистраль проходит по территории со сложными мерзлотными условиями, которые определяются ее положением на южной окраине сплошной криолитозоны. Железная дорога охватывает зону тектонических разломов Монголо-Охотского пояса, данная зона играет исключительно важную роль в эксплуатации железной дороги. Множество разломов от самых молодых до региональных и долгоживущих пересекают трассу на всем ее протяжении. Характерной особенностью района являются впадины «забайкальского» типа, кулисообразно расположенные вдоль железнодорожной магистрали.

Впадины имеют небольшую протяженность, они асимметричны и часто ограничиваются менее протяженными субмеридиональными (поперечными) разломами. Во всех впадинах горные породы находятся в многолетнемерзлом состоянии, причем мощность мерзлоты увеличивается по направлению с запада на восток-северо-восток от 50–55 м (Хилокская впадина) до 100–120 м (в районе Могочи) и 150 м (в районе ст. Амазар). Соответственно мощностям понижается и температура многолетнемерзлых пород от минус 0,1–1 °С (Читино-Ингодинская впадина) до минус 3,3–3,9 °С (в Амазарской впадине). Понижение температуры и увеличение мощности мерзлоты отличается и в хребтах, окружающих впадины. На склонах северной экспозиции хр. Черского мощность многолетнемерзлых пород равна 15–18 м. Восточнее на склонах хребтов Амурского и Амазарского она нередко увеличивается до 200 и более метров.

Во впадинах, пересекаемых железнодорожной магистралью, широко распространены различные формы и микроформы рельефа, связанные с многолетней мерзлотой. К ним относятся наледи, бугры пучения, со-

лифлюкционные террасы, оползни-оплывины, «пятна-медальоны» и др. Из перечисленных форм наибольшее отрицательное влияние на эксплуатацию дороги оказывают наледи. Наледи – это плоско-выпуклые ледяные тела, образующиеся на поверхности земли или льда в результате излияния речных и подземных вод. Причиной их появления является сужение живого сечения русла реки.

Помимо наледей поверхностных вод, вдоль железнодорожной магистрали широко развиты грунтовые наледи, формирующиеся при промерзании водоносных грунтов сезоннопротаивающего слоя. В отечественной практике разделяют их на наледи надмерзлотных вод, образующиеся вдоль склонов до полного перемерзания слоя сезонного протаивания, и подмерзлотные наледи, которые растут в течение всего периода отрицательных температур за счет постоянного выхода глубинных вод по тектоническим зонам разломов вблизи бортовых частей впадин. Такие наледи увеличиваются по площади в течение всей зимы и известны на многих участках железной дороги (в районе Чернышевска – 6336 км, Могочи – 6694 км, Амазара – 6759 км, Ерофей Павловича – 7094 км, Жанны – 6786 км, Большой омутной – 7176 км и др.). Эти наледи сформированы за счет выхода глубинных подмерзлотных вод по зонам разлома (рис. 1).



**Рис. 1.** Сотрудники Забайкальского института железнодорожного транспорта у наледи подземных вод на склоне выемки



Для борьбы с наледями применяются различные меры: устройство снеговых валов, утепление действующих водотоков, установка дощатых заборов, скалывание льда, постоянное поднятие бровок земляного полотна, увеличение выемок на наледных участках, перенос отдельных участков дороги, строительство дополнительных водопропускных труб, водоотводов и дренажей подземных вод (рис. 2).



**Рис. 2.** Установка заборов на пути образования наледи  
перед искусственным сооружением

Наряду с наледообразованием, на многих склонах вдоль железной дороги наблюдаются мелкие оползни-сплывы на глинистых мерзлотных грунтах, просадки в глинистых и суглинистых грунтах, пучение в переувлажненных грунтах. Параллельно образованию наледей, идет процесс пучения грунтов при замерзании насыщенных водой отложений, их объем увеличивается, формируются ледяные линзы, возникают крупные ледяные бугры – гидролакколиты. Если поступление подмерзлотных вод происходит непрерывно, то внутри гидролакколита возникает давление, которое, при превышении прочности перекрывающих пород, взрывает гидролакколит. Сила взрыва иногда бывает настолько велика, что крупные деревья, оказавшиеся в центре гидролакколита, расщепляются по вертикали.



Гидролакколиты встречаются группами или одиночками во всех впадинах вдоль железнодорожной магистрали. Например, вблизи хребта Яблонового, у тылового шва низкой надпойменной террасы правого берега реки Читы, где проходит региональный глубинный разлом между Яблоновым хребтом и Читино-Ингодинской впадиной, наблюдаются реликты бывших гидролакколитов в виде кольцевых валов, называемых местным населением «булгуньяхами». Их развитие происходило под влиянием напора межмерзлотных и надмерзлотных вод с вздыманием водонепроницаемых пород деятельного слоя. К настоящему времени ледяные ядра из них вытаяли, оставив котлованы глубиной до нескольких метров, окруженные валами. Размеры каждого такого булгуньяха достигают 70х100 м. Вблизи деревни Авдей сохранился один из гидролакколитов высотой 13,5 м с крутыми (25°–28°) склонами, окруженный заболоченным пространством с бугристо-кочковатыми марями и термокарстовыми озерами.

Перечисленные ранее случаи наледообразования широко проявились при эксплуатации достаточно современного объекта – железной дороги «Нарын – Лугокан» в Забайкальском крае.

В 2006 году Правительством Российской Федерации был утвержден инвестиционный проект компании «Норильский никель» по освоению месторождений полиметаллических руд в Забайкальском крае – Быстринского, Лугоканского, Култуминского, Солонеченского и Бугдаинского, крупнейших в России по запасам меди, молибдена и титана. Кроме того, руды месторождений содержат вольфрам, свинец, олово, цинк, литий, серебро и золото. Строительство новой железной дороги планировалось вестись на условиях государственно-частного партнерства.

Строительство железной дороги началось в декабре 2008 года, и уже в феврале 2010 г. открыто рабочее движение на участке ст. Нарын 1 – ст. Александровский Завод, протяженность которого составляет 133 км (рис. 3).

В настоящее время железная дорога эксплуатируется в режиме временной эксплуатации. Согласно СП 119.13330.2021 «Железные дороги колеи 1520» неотъемлемой частью строительства железнодорожного пути является временная эксплуатация построенных участков, при которой проводят обкатку пути в установленном проектом объеме. Временная эксплуатация железной дороги или отдельных ее участков осуществляется при доведении ее технической готовности до уровня, обеспечивающего безопасность движения поездов. При реконструкции действующих линий эксплуатирующая организация владельца инфраструктуры должна осуществлять постоянный контроль за ходом строительных ра-

бот и соблюдением требований по обеспечению безопасности движения поездов на объекте реконструкции. Подрядная строительная организация обязана выполнять все указания эксплуатирующей организации, касающихся вопросов обеспечения безопасности движения поездов.

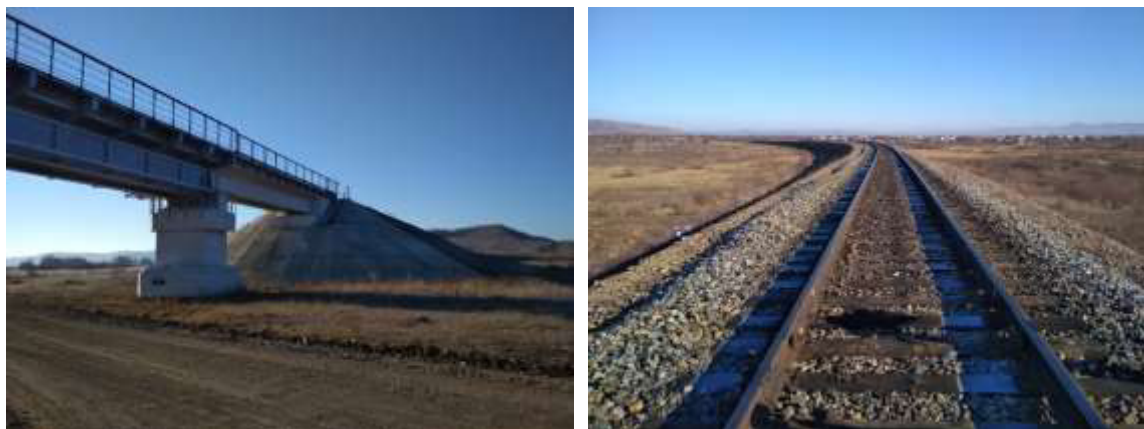


*Рис. 3. Железная дорога «Нарын – Лугокан». 2009 год*

В 2023 году ООО «Востокгеология» приступила к строительным работам по приведению параметров железной дороги к проектным. Этим работам предшествовал комплекс изыскательских работ, в т. ч. и по выявлению, анализу и мониторингу состояния наледей на объекте.

Сотрудники кафедры «СЖД» ЗаБИЖТ провели обследовательские работы участков наледеобразования на инженерных сооружениях железной дороги «Нарын – Лугокан». Главной целью данной работы была оценка состояния устройств инфраструктуры железной дороги «Нарын – Лугокан» на участках наледеобразования, исследование границ наледей, точек выхода грунтовых вод, отметок поверхности наледей.

Рассмотрим некоторые участки с образованием наледи. Первый участок наледи у трубы на ПК890+85,8. Тело наледи расположено справа по ходу километров на косогоре со средним естественным уклоном 8‰. Наледь идет вдоль насыпи железной дороги, имеет ширину около 10 м, считая от подошвы насыпи (рис. 4).

Наледь состоит из двух участков, разделенных автомобильной дорогой. Площадь наледи до автомобильной дороги составляет примерно 38000 м<sup>2</sup>. Поверхность наледи неровная, имеются бугры, следы противоналедной борьбы, выход талой воды на поверхность. Начало точки роста первой наледи скрыты подо льдом. Часть талой воды уходит в ИССО, часть идет вдоль насыпи. Наледь за автодорогой имеет меньшие размеры и образована двумя ключами, с выходом жидкой воды на лед. Площадь наледи послед автодороги составляет 3700 м<sup>2</sup>. На мо-

мент исследований получены данные о намеченных в ближайшее время противоналедных мероприятиях в виде прорытия траншей экскаватором.



*Рис. 4.* Вид на наледь по ходу километров



*Рис. 5.* Общий вид наледи

Рассмотрим другой участок наледи, расположенный на ПК2077+27,27. Наледь расположена с правой стороны от пути, имеет значительные размеры и берет свое начало на косогоре на расстоянии более 400 м от железной дороги (рис. 5). В разных местах устроен ряд защитных сооружений: экраны, дамба, траншеи. Дамба устроена с правой части притрассовой автомобильной дороги. Высота дамбы от уровня дороги доходит до 2,5 м, но, тем не менее, вода доходит до конца дамбы и протекает на автомобильную дорогу и далее в подмостовое русло. Общая площадь наледи составляет 35400 м<sup>2</sup>. Ведутся работы по недопущению появления критических отметок наледи в подмостовом русле.

### ***Заключение***

Забайкальская железная дорога является одной из самых грузонапряженных магистралей в мире, которая функционирует в сложных природно-климатических условиях, характеризующихся многолетней мерзлотой, тектоническими разломами и другими неблагоприятными геологическими факторами. Сложные мерзлотные условия в районе железной дороги приводят к образованию различных форм рельефа, таких как наледи, бугры пучения, оползни, гидролакколиты.

В ходе обследовательских работ установлено, что вдоль железной дороги «Нарын-Лугокан» существует множество крупных участков с образованием наледей. Сложные мерзлотные и инженерно-геологические условия, присущие обследуемой территории, способствуют образованию наледей через временные водотоки. В процессе эксплуатации железной дороги «Нарын-Лугокан» это вызывает значительные проблемы с функционированием водопропускных сооружений, нарушением конструкции водопропускных труб, деформацией земляного полотна и искусственных сооружений на местах, где образуются наледные бугры.

Полученные результаты обследований наледных участков могут быть использованы для разработки эффективных мер по защите и обеспечению безаварийной эксплуатации железнодорожной линии в сложных мерзлотных условиях Забайкалья, а также для создания системы комплексного мониторинга состояния объектов инфраструктуры.

### ***Библиографический список***

1. On the Issue of Criteria for the Purpose of Capital Repairs of the Railway Track / E. V. Nepomnyashchikh, K. A. Kirpichnikov, K. Y. Voronchikhin, V. Y. Linitsev. – Текст : непосредственный // Transportation Research Procedia : 12, Irkutsk-Krasnoyarsk, 06–08 октября 2021 года. – Irkutsk-Krasnoyarsk, 2022. – P. 609–613. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.01.098. – EDN NOYDST.



2. Коновалова, Н. А. Эффективность использования цеолитсодержащих пород Забайкальского края в производстве теплоизоляционных материалов для дорожного строительства / Н. А. Коновалова, Е. В. Непомнящих. – Текст : непосредственный // Экология и промышленность России. – 2016. – Том 20, № 6. – С. 20–25. – DOI 10.18412/1816-0395-2016-6-20-25. – EDN WHOFSO.

3. Blagorazumov, I. V. Phases of maintaining the readiness of a new railway line Naryn – Lugokan / I. V. Blagorazumov, K. A. Kirpichnikov, O. V. Blagorazumova. – Текст : непосредственный // Problems and prospects of survey, design, construction and exploiting of Northeast Asia transport systems : Students and post-graduate students' works presented at the Second International Scientific-Applied Conference, Irkutsk, 14 мая 2010 года. – Irkutsk : Irkutsk State Transport University, 2010. – P. 23–28. – EDN YBUXTE.

4. Этапы эксплуатационной готовности новой железнодорожной линии Нарын – Лугокан / И. В. Благоразумов, Д. Ю. Сорокин, К. А. Кирпичников, О. В. Благоразумова. – Текст : непосредственный // Проблемы и перспективы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог : труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 19–23 апреля 2010 года. Том 1. – Иркутск : Иркутский государственный университет путей сообщения, 2010. – С. 113–119. – EDN KSOERX.

5. Непомнящих, Е. В. Мероприятия по улучшению водно-теплового режима водоотводных сооружений / Е. В. Непомнящих, Я. В. Ключков. – Текст : непосредственный // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2014. – № 12(115). – С. 12–21. – EDN UQFVTX.

6. Патент № 2574643 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/35. Способ защиты бетонного фундамента от воздействий сил вспучивания замерзшего грунта : № 2015102042/03 : заявл. 23.01.2015 : опубл. 10.02.2016 / Н. П. Сигачёв, Н. В. Лашук, Н. А. Коновалова [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – EDN ZENBGH. – Текст : непосредственный.

7. Непомнящих, Е. В. Противоналедные мероприятия в условиях малоснежных зим / Е. В. Непомнящих, Я. В. Ключков. – Текст : непосредственный // Безопасность регионов – основа устойчивого развития. – 2014. – Том 1-2. – С. 279–287. – EDN SZZXET.

8. Непомнящих, Е. В. Совершенствование противопучинных мероприятий, используемых для регулирования водно-теплового режима земляного полотна / Е. В. Непомнящих. – Текст : непосредственный // Молодёжь в современном мире: гражданский, творческий и инновационный



потенциал : VI Всероссийская (заочная) научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 80-летию основания Старооскольского ГРТ им. И. И. Малышева, Старый Оскол, 01–29 декабря 2014 года. – Старый Оскол : РОСА, 2014. – С. 244–248. – EDN RHONPY.

9. Патент № 2583815 С1 Российская Федерация, МПК E02B 3/16, E02D 3/12. Способ создания противофильтрационного экрана в грунте : № 2015102039/13 : заявл. 23.01.2015 : опубл. 10.05.2016 / Н. П. Сигачёв, Н. В. Лашук, Н. А. Коновалова [и др.] ; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – EDN WSHZC. – Текст : непосредственный.

***А. В. Полянский***

*Российский университет транспорта,  
г. Москва, Россия*

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ГЛАВНЫХ ПУТЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

*В статье рассматриваются организационно-технологические аспекты строительства дополнительных главных путей. Исследованы вопросы организационно-технологического регулирования строительства, методы определения продолжительности работ при сооружении земляного полотна, а также анализ влияния структуры объектов дополнительных путей на сметную стоимость строительства. Показаны возможности снижения трудозатрат, сокращения сроков, повышения эффективности производства работ, а также прогнозирования экономических показателей строительства дополнительных главных путей в зависимости от технических характеристик продольного профиля и принятой конструкции верхнего строения пути.*

*Ключевые слова: железнодорожное строительство, дополнительные главные пути, организационное регулирование, продолжительность работ, организационно-технологические решения, земляное полотно, верхнее строение пути.*

Многолетняя работа по совершенствованию организационно-технологического проектирования строительства дополнительных главных путей показала, что в отличие от ведения работ в строгой последовательности на строительстве новой линии (отсыпка земляного полотна

механизированными колоннами, укладка пути, отсыпка песчаного и щебеночного балласта хоппер-дозаторами и т.д.), на дополнительных путях порядок выполнения работ определяется целым рядом условий. На выбор организационных схем производства работ влияют [1, 2]:

- пропускная способность эксплуатируемого первого пути;
- возможность предоставления «окон»;
- дальность транспортировки дренирующего грунта, песка и щебня;
- наличие необходимого парка машин и механизмов;
- объемы работ на перегонах и др.

Основные организационные схемы производства работ на дополнительных путях представлены в табл. 1 (принятые обозначения: П – песчаный балласт; Щ – щебеночный балласт; УП – укладка пути; ЗРД – земляные работы в дренирующих грунтах; ЗРО – земляные работы в обыкновенных грунтах).

На первый взгляд, выбор одной из приведенных организационных схем строительства участка дополнительных главных путей в данных конкретных условиях кажется предпочтительным, однако при сооружении дополнительного пути существует целый ряд особенностей, способных изменять организационную схему:

- во-первых, это поперегонная сдача дополнительного пути в эксплуатацию в отличие от сооружения новой линии со сдачей в эксплуатацию участков длиной 140–170 км;
- во-вторых, необходимо учитывать неидентичность объемов одноименных работ на перегонах, что вызывает изменение времени на их выполнение;
- в-третьих, это учет сезонной неравномерности, особенно влияющей как на поперечную сдачу дополнительного пути в эксплуатацию, так и на общий срок строительства.

*Таблица 1*

**Основные организационные схемы производства работ  
на дополнительных главных путях**

| Работы, выполняемые специализированными ресурсами и подразделениями             | Организационные схемы |         |       |         |         |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------|-------|---------|---------|
|                                                                                 | А                     | Б       | В     | Г       | Д       |
| Завоз балластных материалов хоппер-дозаторами                                   | П, Щ                  | П, Щ    | Щ     | Щ       | Щ       |
| Укладка пути                                                                    | УП                    | УП      | УП    | УП      | УП      |
| Завоз дренирующего грунта, песчаного балласта думпкарами                        | ЗРД                   | У       | ЗРД-П | П       | -       |
| Отсыпка земляного полотна, дренирующего грунта, песчаного балласта мехколоннами | ЗРО                   | ЗРО-ЗРД | ЗРО   | ЗРО-ЗРД | ЗРО-ЗРМ |

Существующие методики ориентированы на получение численного результата, отражающего единственное состояние производственной системы (жесткое ведение работ на всех перегонах участка строительства дополнительных главных путей по одной из организационных схем А-Д), в то время как задача должна ставиться шире и включать в себя поведение системы в изменчивых условиях и ее регулирование с целью достижения достаточной устойчивости к возможным возмущающим воздействиям.

Предлагаемая методика ориентирована на то, чтобы дать разработчику организационно-технологической документации такой аппарат организационного регулирования, который позволяет исследовать возможность ведения работ на  $i$ -м перегоне по организационным схемам А-Д и выбрать рациональную. В процессе работы все эти вопросы были тщательно проработаны, что позволило создать математическую, альтернативную, многовариантную модель организации строительства дополнительных главных путей. На Рисунке приведен укрупненный алгоритм формирования организационной схемы строительства дополнительного пути на  $i$ -м перегоне, позволяющий решать задачу наискорейшей сдачи перегона в эксплуатацию, используя при этом все резервы для выполнения работ в полном объеме и в выделенное время.

Разработанная методика организационно-технологического регулирования позволяет рационально организовать постройку дополнительного пути не только на каждом перегоне, но и по участку в целом, что снижает трудозатраты на 5–7 % и позволяет ускорить ввод участка в эксплуатацию в 1,1–1,17 раза.

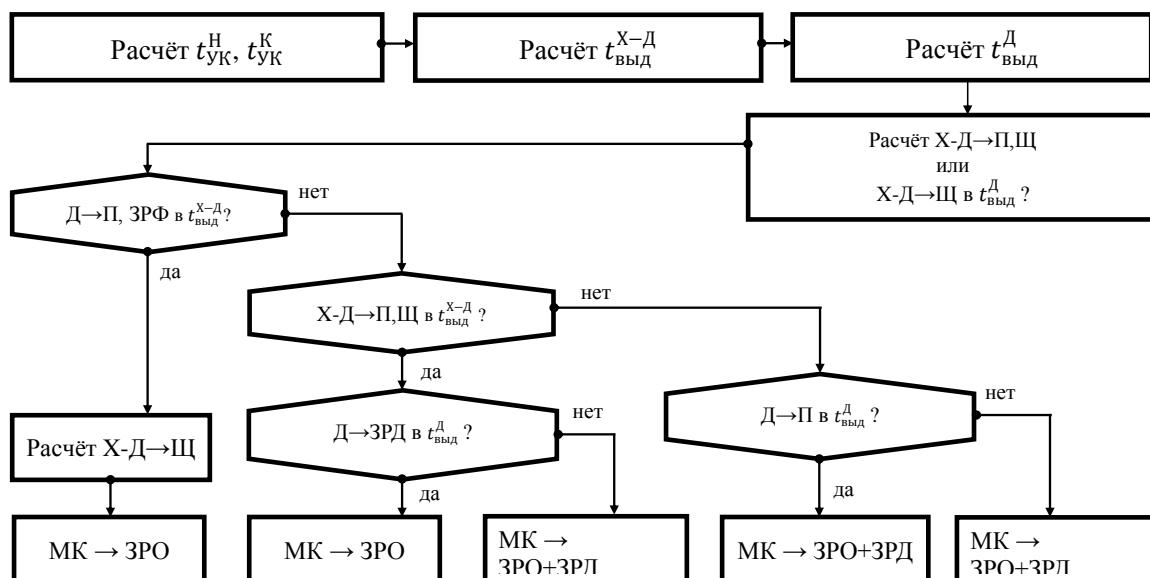


**Рис. 1.** Укрупнённый алгоритм формирования организационной схемы строительства на перегоне

Еще одним организационно-технологическим аспектом строительства дополнительных главных путей является определение продолжительности работ при сооружении земляного полотна. Задача сокращения сроков и повышения эффективности строительного производства включает в число первоочередных вопросов выявление факторов, влияющих на сроки строительства, и разработку методов, обеспечивающих эффективную работу комплектов машин на сооружении земляного полотна [3, 4].

Установлено четыре фактора, влияющие на объемы и сроки выполнения работ на дополнительных главных путях:

- 1) дополнительные объемы работ  $V_D$ ;
- 2) перерывы в работе машин, связанные с движением поездов  $t_{\Pi}$ ;
- 3) более сложное взаимодействие машин в комплекте и, как следствие, наличие технологических перерывов в сменном времени  $t_{ПС}$ ;
- 4) уменьшение удельного профильного объема, дополнительные перебазировки машин и увеличение перерывов в годовом времени работы машин  $t_{ПГ}$ .

В общем случае срок сооружения земляного полотна дополнительных главных путей: определяется по формуле

$$t = \frac{V + V_D(h; L; \Gamma)}{P_{СР.Ч}(\Phi_{СМ}; \Phi_{Г})} + t_{ДР},$$

где  $V$ ,  $V_D$  – основной профильный и дополнительный объемы земляного полотна;

$P_{СР.Ч}$  – среднечасовая производительность комплекта;

$t_{ДР}$  – время на отсыпку слоя дренирующего грунта;

$h$  – рабочая отметка;

$\Gamma$  – тип грунта основания и существующий насыпи;

$\Phi_{СМ}$ ,  $\Phi_{Г}$  – сменный и годовой режим работы комплекта машин.

Дополнительные объемы работ учитываются коэффициентом  $K_O$  профильному объему (табл. 2).

Увеличение объемов работ, естественно, приводит к росту затрат машинного времени на выполнение единицы основного объема (в расчетах принят объем  $1000 \text{ м}^3$ ). Кроме того, необходимость пропуска поездов по действующему пути также будет вести к росту затрат машинного времени. При работе на электрифицированных участках затраты машинного времени возрастают еще в 1,2 раза в связи с работой машин вблизи контактного провода. В общем случае коэффициент увеличения затрат машинного времени (табл. 3–4) определяется по формуле

$$K_T = \frac{K_O}{K_{ДВ}} \cdot K_{ЭЛ},$$

где  $K_O$ ,  $K_{ЭЛ}$ ,  $K_{ДВ}$  – коэффициенты дополнительных объемов работ, условий электрификации и движения поездов по действующему пути.

Таблица 2

**Коэффициент дополнительных объёмов работ  
при возведении насыпей**

| Рабочая<br>отметка,<br>м | Из карьера                               |           |            | Из резерва    |            |              | Разработка<br>выемок экскава-<br>тором с погрузкой<br>в автосамосвалы |
|--------------------------|------------------------------------------|-----------|------------|---------------|------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                          | автосамосвалами<br>в обычных<br>условиях | на болоте | скреперами | экскаваторами | скреперами | бульдозерами |                                                                       |
| до 2                     | 1,03                                     | 1,09      | 1,02       | 1,03          | 1,02       | 1,7          |                                                                       |
| 3-5                      | 1,13                                     | 1,10      | 1,06       | 1,05          | 1,04       | -            | -                                                                     |
| 6-8                      | 1,20                                     | 1,10      | 1,12       | -             | 1,06       | -            | -                                                                     |
| 9-10                     | 1,28                                     | 1,10      | 1,18       | -             | -          | -            | 1,65                                                                  |
| 11-12                    | 1,35                                     | 1,10      | 1,23       | -             | -          | -            | 1,72                                                                  |

Таблица 3

**Коэффициент увеличения затрат машинного времени  
при возведении насыпей**

| Рабочая отметка, м | Из карьера<br>автосамосвалами   |                                        |       |        | Из карьера<br>скреперами | Из резерва экскаваторами                                   |       |        |                                                              |       |        | Из резерва<br>скреперами |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-------|--------|--------------------------|------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------------------------------------------------------|-------|--------|--------------------------|
|                    | в обыч-<br>ных<br>услови-<br>ях | на болотах<br>при размерах<br>движения |       |        |                          | Электрифициро-<br>ванная линия<br>при размерах<br>движения |       |        | Неэлектрифициро-<br>ванная линия<br>при размерах<br>движения |       |        |                          |
|                    |                                 | 14-36                                  | 37-72 | 73-112 |                          | 14-36                                                      | 37-72 | 73-112 | 14-36                                                        | 37-72 | 73-112 |                          |
| до 2               | 1,03                            | 1,11                                   | 1,17  | 1,25   | 1,02                     | 1,34                                                       | 1,43  | 1,55   | 1,10                                                         | 1,19  | 1,28   | 1,05                     |
| 3-5                | 1,13                            | 1,11                                   | 1,13  | 1,12   | 1,06                     | 1,34                                                       | 1,46  | 1,57   | 1,12                                                         | 1,22  | 1,31   | 1,40                     |
| 6-8                | 1,20                            | 1,10                                   | 1,12  | 1,13   | 1,12                     | -                                                          | -     | -      | -                                                            | -     | -      | 2,10                     |
| 9-10               | 1,28                            | 1,10                                   | 1,11  | 1,12   | 1,18                     | -                                                          | -     | -      | -                                                            | -     | -      | -                        |
| 11-12              | 1,35                            | 1,10                                   | 1,11  | 1,12   | 1,23                     | -                                                          | -     | -      | -                                                            | -     | -      | -                        |



Таблица 4

**Коэффициент увеличения затрат машинного времени  
при разработке выемок в насыпь**

| Рабочая<br>отметка,<br>м | Скреперами<br>при размерах движе-<br>ния |       |        | Экскаваторами                                         |       |        |                                                           |       |        |
|--------------------------|------------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------------------------|-------|--------|-----------------------------------------------------------|-------|--------|
|                          | 14-36                                    | 37-72 | 73-112 | Электрифицированная<br>линия при размерах<br>движения |       |        | Неэлектрифицирован-<br>ная линия при размерах<br>движения |       |        |
|                          |                                          |       |        | 14-36                                                 | 37-72 | 73-112 | 14-36                                                     | 37-72 | 73-112 |
| до 2                     | 1,05                                     | 1,10  | 1,17   | -                                                     | -     | -      | -                                                         | -     | -      |
| 3-5                      | 1,07                                     | 1,09  | 1,11   | -                                                     | -     | -      | -                                                         | -     | -      |
| 6-8                      | 1,13                                     | 1,14  | 1,15   | -                                                     | -     | -      | -                                                         | -     | -      |
| 9-10                     | 1,18                                     | 1,19  | 1,20   | 2,03                                                  | 2,11  | 2,20   | 1,69                                                      | 1,76  | 1,83   |
| 11-12                    | 1,23                                     | 1,24  | 1,25   | 2,11                                                  | 2,17  | 2,26   | 1,76                                                      | 1,81  | 1,88   |

На практике применяются различные технологические схемы производства земляных работ на дополнительных главных путях (табл. 5).

Таблица 5

**Технологическая схема производства земляных работ**

| Вид разработки грунта                                                                                 | Удельный вес<br>от общего объёма земляных<br>работ на дополнительных<br>главных путях, % |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Разработка грунта бульдозером с транспортировкой грунта до 100 м                                      | 10                                                                                       |
| Разработка грунта экскаватором с погрузкой в автосамосвалы с транспортировкой на расстояние до 1500 м | 17                                                                                       |
| То же, на расстояние до 1500–5000 м                                                                   | 31                                                                                       |
| То же, на расстояние свыше 5000 м                                                                     | 12                                                                                       |
| Разработка грунта экскаватором в отвал                                                                | 20                                                                                       |
| Разработка грунта из резерва в насыпь и из выемки в кавальер экскаватором                             | 7                                                                                        |
| Другие работы по разработке грунта                                                                    | 3                                                                                        |

Область применения технологической схемы определяется по графикам зависимости приведенных затрат от параметров схемы.

В отличие от новых линий в отношении дополнительных главных путей речь идет не об областях эффективного применения машин, а об областях эффективного применения технологических схем, так как

в связи со стесненностью фронта работ и особенностями взаимодействия машин при расчетах эффективности необходимо учитывать основную особенность механизации работ на дополнительных главных путях – постоянное изменение состава комплекта машин при движении вдоль фронта работ.

Третьим организационно-технологическим аспектом строительства дополнительных главных путей является определение категории трудоемкости работ и ее влияния на их стоимость. Действующая в настоящее время классификация категории трудоемкости строительства дополнительных главных путей не отражает всей глубины проблемы, всех действующих связей и носит весьма обобщенный характер. Для более полного и глубокого изучения взаимного влияния ряда факторов, играющих решающую роль при определении трудоемкости строительства дополнительных путей и их стоимости, а также создание основ для ее определения, рассмотрены во взаимосвязи покилометровые объемы земляных работ, стоимость работ по верхнему строительству пути, стоимости земляного полотна и общие стоимости строительства дополнительных главных путей для различных регионов России [1, 3].

В результате исследования проектов организации строительства дополнительных главных путей была установлена взаимосвязь между ранее перечисленными факторами. На основании полученных данных определены стоимость строительства одного километра дополнительных главных путей, которая составляет в среднем по стране 656 тыс. рублей, среднее процентное соотношение стоимости отдельных видов работ от общей стоимости строительства одного километра дополнительных главных путей. Наибольшие капитальные вложения приходятся на сооружение верхнего строения пути, что составляет 16 % от общей стоимости. Также значительную долю 13 % от общей стоимости составляет стоимость сооружения земляного полотна.

Между реальными объемами земляных работ и общей стоимостью строительства дополнительных главных путей железных дорог определено уравнение регрессии, характеризующее эту взаимосвязь

$$C = 224,02e^{0,0318 \cdot V_{3p}},$$

где  $C$  – общая стоимость строительства одного километра дополнительных главных путей, тыс. р.;

$V_{3p}$  – покилометровый профильный объем земляных работ, тыс. м<sup>3</sup>/км.

Коэффициент корреляции, характеризующий данную зависимость, равен 0,81.

Так как значительную долю от общей стоимости составляет стоимость сооружения верхнего строения пути, то была рассмотрена взаимосвязь между этими параметрами и найдена регрессионная зависимость

$$C = 28,47 + 4,48 \cdot C_{B.CTP} ,$$

где  $C$  – общая стоимость строительства одного километра дополнительных главных путей, тыс. р.;

$C_{B.CTP}$  – стоимость сооружения верхнего строения одного километра пути, тыс. р./км.

При этом коэффициент корреляции составил 0,8. Несмотря на то, что исходные данные по строительству дополнительных главных путей, собранные для различных регионов страны, отличаются между собой, все же существует регрессионная зависимость между исследуемыми параметрами, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции.

Поиск вида регрессионной зависимости осуществлен в автоматизированном режиме. Установленные регрессионные зависимости между сметной стоимостью строительства дополнительных главных путей, километровыми объемами земляных работ и стоимостью сооружения верхнего строения пути позволяют на стадии технико-экономического обоснования прогнозировать экономические показатели строительства дополнительных главных путей в зависимости от технических характеристик продольного профиля и принятой конструкции верхнего строения пути.

#### *Библиографический список*

1. Автоматизированное проектирование организации строительства железных дорог / под редакцией С. П. Першина. – Москва : Транспорт, 1991. – 261 с. – Текст : непосредственный.
2. Леонтьев, Р. Г. Инвестиционные процессы и железнодорожное строительство: российский опыт, региональные перспективы, оценка эффективности : монография / Р. Г. Леонтьев, Н. В. Дербас, М. А. Немчинова. – Хабаровск : Издательство ДВГУПС, 2004. – 371 с. – Текст : непосредственный.
3. Полянский, А. В. Инженерно-интеллектуальное обеспечение технологических процессов в железнодорожном строительстве / А. В. Полянский. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Мир науки», 2023. – 245 с. – ISBN 978-5-907731-28-8. – DOI 10.15862/39MNNPM23. – EDN WYHNBRO. – Текст : непосредственный.

4. Полянский, А. В. Адаптация интеллектуальных технологий к решению задач календарно-ресурсного планирования строительства транспортных объектов / А. В. Полянский. – Текст : непосредственный // Механизация строительства. – 2014. – № 4(838). – С. 58–61. – EDN SAYISV.

**Е. А. Рыжик, В. А. Бучкин, Е. О. Целихов**  
*Российский университет транспорта РУТ (МИИТ),  
г. Москва, Россия*

## **РАЗВИТИЕ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ В РОССИИ**

*Безопасность движения поездов закладывается уже на стадии проектирования трассы новой железной дороги. Особого внимания требуют вопросы безопасности, если речь идёт о высокоскоростных магистралях, на которых поезда развивают скорости до 400 км/ч.*

*Обеспечить безопасность и плавность движения поездов на стадии проектирования плана и продольного профиля трассы можно, используя нормы проектирования. В нормативные требования и условия закладывается весь опыт проектирования и эксплуатации дорог. Естественно, что со временем накапливается опыт и нормы претерпевают изменения.*

*В статье рассмотрены этапы формирования основных норм проектирования плана и продольного профиля трассы высокоскоростных железнодорожных специализированных магистралей. Отмечаются не только количественные изменения в значениях параметров, но и появление новых нормируемых величин.*

*Ключевые слова: высокоскоростная магистраль, нормы проектирования, специальные технические условия, план трассы, продольный профиль трассы, радиус круговой кривой, длина переходных кривых, радиус вертикальной кривой, непогашенное поперечное ускорение, непогашенное вертикальное ускорение.*

Обсуждение строительства высокоскоростных магистралей в Советском Союзе берет начало еще с конца 1960-х годов – сразу после появления таких объектов в Японии, а затем и в Европе. В 1974 году Министерство путей сообщения СССР выпустило официальное поручение ряду проектных организаций и исследовательских институтов, поставив

конкретную задачу – разработку проектных решений для высокоскоростной железной дороги, которая соединяла бы центральные регионы страны с южными. В числе учреждений, участвовавших в этом важном начинании, значились такие организации, как ВНИИЖТ (Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта), ГипротрансТЭИ (Государственный институт технико-экономических изысканий и проектирования железнодорожного транспорта), Мосгипротранс (Московский государственный проектно-изыскательский институт) и ЛИИЖТ (Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта) [1]. Проекты были выполнены, но не реализованы.

Параллельно с разработкой проектов высокоскоростных магистралей велась активная работа по созданию и обоснованию норм проектирования для обеспечения безопасности, комфорта и эффективности функционирования новых транспортных систем. Используемые на тот момент нормы проектирования базировались на уже имеющемся опыте проектирования ВСМ в Японии и Европейских странах. Нормы анализировались, перекладывались на природные и технические условия проектирования трасс «Центр – Юг» в направлении от Москвы до Харькова.

В этот период, говоря о высокоскоростном движении, подразумевались максимальные скорости до 350 км/ч. Нормировались те же параметры элементов плана и продольного профиля, что и для дорог общего пользования. Разница в значениях уклонов соседних элементов не могла быть больше 6‰, в случае необходимости ее можно было увеличить на «горбах» до максимально допустимого значения – 10‰. Если обеспечить подобное не представлялось возможным, следовало применять дополнительные элементы продольного профиля с меньшими значениями уклонов. Длина разделительных площадок и элементов переходной крутизны при указанных значениях алгебраической разности – не менее 350 м. При уменьшенной алгебраической разности разрешалось пропорционально уменьшать длины элементов. Наименьшая длина принималась равной 25 м [2]. При этом радиус сопрягающей кривой при рекомендуемых нормах сопряжения составлял 58 км, при допускаемых – 35 км.

При максимальных уклонах (рекомендуемая величина 24‰, допускаемая – 35‰) [3] продольный профиль превращался в сплошную цепочку элементов переходной крутизны. Для перехода от крутого спуска к крутому подъему понадобился бы участок с элементами переходной крутизны длиной не менее 2450 м (рис. 1).

Смежные элементы продольного профиля следовало сопрягать вертикальными кривыми радиусов: 30 км – на выпуклых переломах профиля; 25 км – на вогнутых переломах. [4]



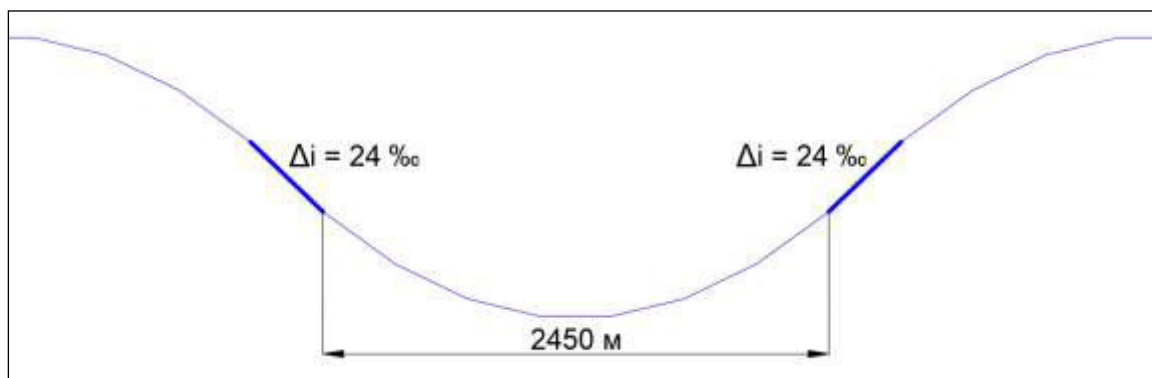


**Рис. 1.** Участок элементов переходной крутизны

Такой же принцип нормирования параметров элементов продольного профиля наблюдался и в 2007 году, когда вернулись к проекту ВСМ «Москва – Санкт-Петербург» со скоростями до 250 км/ч и выпустили СТО «Инфраструктура линии Санкт-Петербург – Москва для высокоскоростного движения поездов. Общие технические требования». [5, 6]

Изменились значения нормируемых величин. Максимальный уклон составил 15‰. Минимальная длина элементов – 300 м, алгебраическая разность уклонов рекомендуемая – 4‰, допускаемая – 5‰. Радиусы вертикальных кривых как для выпуклых, так и для вогнутых переломов продольного профиля рекомендовались одинаковые – 16 км.

Радиусы сопрягающих кривых при таких нормах элементов продольного профиля составляют 75 и 60 км, соответственно для рекомендуемой и допускаемой алгебраической разности уклонов продольного профиля. Вероятно, авторы СТО, при назначении таких жестких норм, руководствовались данными по автосцепке вагонного состава скоростного поезда для скоростей движения 250 км/ч.

Два года спустя, в 2009 году, появляются специальные технические условия для проектирования высокоскоростной магистрали «Москва – Санкт-Петербург» под уровень скоростей специализированного подвижного состава 400 км/ч. [6]

В этом документе из нормируемых величин исчезает привычная для линий общего пользования алгебраическая разность уклонов и появляется новый нормируемый элемент – элемент с постоянным уклоном. Теперь элементы с любыми уклонами, вплоть до максимальных – 24‰ (алгебраическая разность 48‰), не требуют назначения элементов переходной крутизны, а сопрягаются вертикальными кривыми (рис. 2). Изменения в подходах к проектированию сопряжений элементов продольного профиля, связаны с использованием безбалластного верхнего строения пути для поездов, движущихся со скоростями свыше 200 км/ч. [7].

Но авторы предполагают, что дело не только в конструкции верхнего строения пути. В период перехода к уровню скорости в 400 км/ч значительно изменился подвижной состав, используемый на ВСМ. Зарубежный опыт показывает, что конструкции автосцепок и других механизмов, ограничивающих продольные силы, позволяют устраивать сопряжения продольного профиля по радиусам кривых значениями 30–40 км. Такие значения присущи радиусам вертикальных кривых, определяемым из нормируемого для пассажиров вертикального ускорения ( $0,3\text{--}0,4\text{ м/с}^2$ ).

Поэтому появилась возможность не устраивать элементы переходной крутизны с последующим устройством вертикальных кривых в локальных переломах профиля, а вписывать вертикальные кривые в глобальные переломы профиля (рис. 2).

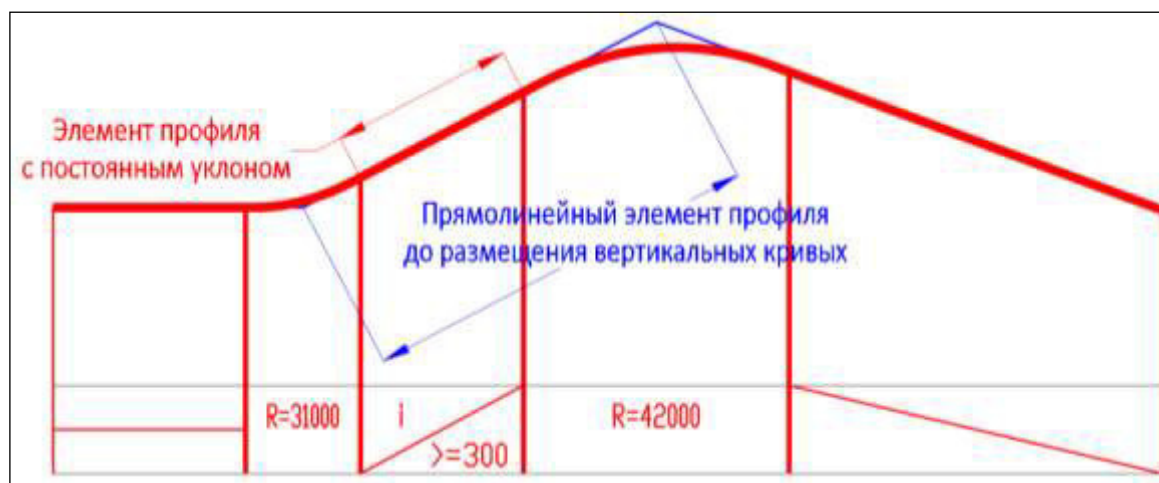


Рис. 2. Элемент продольного профиля с постоянным уклоном

При этом нормируется длина элемента с постоянным уклоном. В этом СТУ (для линии «Москва – Санкт-Петербург» 2009 года) она составляет 250 м, в следующих подобных документах увеличена до 300 м.

Длина участка перехода от крутого спуска к крутому подъему в этом случае зависит от очертания продольного профиля (вогнутое или выпуклое), так как нормы непогашенного вертикального ускорения различны для выпуклого и вогнутого очертания продольного профиля. Так для выпуклого очертания (при непогашенном ускорении  $0,4\text{ м/с}^2$ , максимальной скорости 400 км/ч и соответствующем радиусе вертикальной кривой 42 км) при уклонах сопрягаемых элементов по 24‰ длина вертикальной кривой и соответственно участка сопряжения составляет 2016 метров.

Изменения происходили и в нормировании непогашенного поперечного ускорения, испытываемого пассажирами при нахождении поездов в кривых, а также радиусов круговых кривых, которые рассчитываются в зависимости от принятой нормы этого ускорения.

В нормах 2007 года рекомендовалась величина непогашенного поперечного ускорения  $0,7 \text{ м/с}^2$ , допускалась в трудных условиях –  $1 \text{ м/с}^2$ .

В 2009 году приняли норму  $0,4 \text{ м/с}^2$  для всех уровней скоростей, при допускаемой величине  $0,7 \text{ м/с}^2$  в трудных условиях.

При проектировании трассы ВСМ-2 «Москва – Казань – Екатеринбург» в СТУ, утвержденных в 2017 году, появляется ранжирование нормы непогашенного поперечного ускорения в зависимости от уровня максимальной скорости пассажирских поездов.

Ранжирование норм непогашенного поперечного ускорения в зависимости от максимальной скорости – это ключевой элемент проектирования ВСМ-2 «Москва – Казань – Екатеринбург». Это не только повышает комфорт пассажиров, но и минимизирует риски, связанные с безопасностью движения поездов на высоких скоростях. Такие меры способствуют созданию современных и безопасных условий для пассажирских перевозок на магистралях нового поколения.

Так для скоростей движения до  $250 \text{ км/ч}$  разрешено непогашенное поперечное ускорение  $0,7 \text{ м/с}^2$ ; для скоростей  $251\text{--}300 \text{ км/ч}$  –  $0,6 \text{ км/ч}$ ; для скоростей  $301\text{--}350 \text{ км/ч}$  –  $0,5 \text{ км/ч}$ ; для скоростей  $351\text{--}400 \text{ км/ч}$  –  $0,4 \text{ км/ч}$ .

В начале исследований стандартов высокоскоростных магистралей в нашей стране было рекомендовано устанавливать радиусы кривых на уровне 7000 метров. В сложных условиях, при наличии соответствующего технико-экономического обоснования, разрешалось сокращать радиусы кривых до 4000 метров. При этом максимальные допустимые скорости движения поездов определялись в зависимости от радиуса кривой с учетом непогашенного поперечного ускорения, равного  $0,4 \text{ м/с}^2$ . [8]

В СТО 2007 года рекомендованные значения радиусов круговых кривых составляли 3000–5000 м. [5, 6]

В последующих нормативных документах, разрабатываемых для специализированных пассажирских магистралей, рекомендовалось принимать значения радиусов кривых по расчету в зависимости от возможной скорости пассажирских поездов в кривой и нормативных значений непогашенного поперечного ускорения высокоскоростных пассажирских поездов. Такие радиусы при скоростях движения до  $400 \text{ км/ч}$  составляют 10 тысяч метров [9].

С проблемой проектирования плана для совмещенного грузопассажирского движения столкнулись при проектировании линии ВСМ-2 «Москва – Казань – Екатеринбург». В техническом задании на проектирование закладывались скорости пассажирских поездов в уровне 400 км/ч и скорости контейнерных поездов – до 160 км/ч. При расчетах радиусов круговых кривых и ускорений, испытываемых поездами разных групп в кривой, оказалось, что наиболее тихоходные поезда испытывают чрезмерное непогашенное ускорение, направленное внутрь кривой.

Возникла необходимость нормирования непогашенного поперечного ускорения, направленного внутрь кривой для контейнерных поездов, как наиболее тихоходных. Кроме того, большая разница в скоростях разных групп поездов (400 км/ч пассажирских и 160 км/ч контейнерных) требовала больших значений радиусов круговых кривых – более 15000 м [9].

Были внесены корректировки в техническое задание на проектирование магистрали ВСМ-2. Скорость контейнерных поездов должна была составить не менее 200 км/ч, что дало возможность использовать радиусы круговых кривых 10000 – 12000 м. Таким образом в СТУ для ВСМ-2 «Москва – Казань – Екатеринбург» появляется новый нормируемый параметр – норма отрицательного непогашенного ускорения:  $-0,3 \text{ м/с}^2$  для специальных грузовых поездов,  $-0,6 \text{ м/с}^2$  для этих же поездов при обосновании. [7, 9]

Длины прямых вставок также претерпели изменения нормативных значений. Если в 90-х годах прошлого века при проектировании магистралей, рассчитанных на скорости до 350 км/ч, рекомендовалось использовать прямые вставки длиной не менее 800 метров. [10], то современные стандарты, например, отраженные в СТУ 2017 года, позволяют сократить минимальную длину прямых вставок до 400 метров при скоростях движения от 200 до 400 км/ч. Это стало возможным благодаря применению более совершенных систем управления и контроля движения поездов, а также улучшению характеристик самих рельсовых путей и подвижного состава. Современные поезда обладают более эффективными системами подвески и амортизации.

Подход к определению длины переходных кривых тоже претерпел изменения. В нормах 2007 и 2009 годов этот параметр устанавливался в зависимости от скорости нарастания непогашенного поперечного ускорения ( $0,4 \text{ м/с}^3$ ) и крутизны отвода возвышения наружного рельса ( $0,37\text{--}0,5 \text{ мм/м}$ ). А в СТУ 2017 и 2021 годов регламентируется только величина допустимых значений вертикальной составляющей скорости подъёма колеса на возвышение наружного рельса, которая связана с показателем крутизны отвода этого возвышения. [5, 6]

В последнем СТУ (2017 года) разрешено попадание вертикальной кривой в зону переходной кривой. Очевидно такое разрешение появилось по итогам опыта трассирования ВСЖМ-1 «Москва – Санкт-Петербург». Стесненные ситуационные условия Московской и Ленинградской области с плотной застройкой приводили к сложному плану: практическое отсутствие прямых участков, короткие круговые кривые и, как следствие, невозможность назначения переломов продольного профиля с вертикальными кривыми.

Современные технологии позволяют выставлять проектные отметки при любых сочетаниях плана и профиля, поэтому устаревшее требование «непопадания вертикальной кривой в переходную» было отменено.

При отсутствии отечественного опыта эксплуатации ВСМ нормы и технические требования в основном формируются на основании зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации высокоскоростных магистралей. Тенденция к пересмотру норм свидетельствует о различиях между принципами проектирования высокоскоростных магистралей (ВСМ) и подходами, применяемыми для обычных дорог. Это закономерный процесс, поскольку основным требованием для ВСМ, в отличие от дорог общего пользования, является возможность достижения высоких скоростей пассажирских поездов и обеспечение удобства для пассажиров.

С другой стороны, с введением грузового (контейнерного) движения на специализированных высокоскоростных пассажирских магистралях возникает задача совмещения грузопассажирского движения. Это связано с существенной разницей в скоростях поездов различных категорий, что создает определенные трудности в организации безопасного и эффективного движения. В результате необходимо возвращаться к принципам нормирования, которые применяются и на дорогах общего пользования, чтобы обеспечить требования эксплуатации поездов с различным весом и скоростями движения.

Современные методы строительства и эксплуатации также влияют на тенденцию изменения нормирования и технических условий. Применение передовых технологий и прогрессивной техники позволяет устанавливать большие радиусы для круговых кривых и удлинять переходные кривые. Появляются возможности для отмены устаревших требований, которые уже не соответствуют современному состоянию технического оснащения железных дорог.



*Библиографический список*

1. Высокоскоростные железные дороги в России // Викитерия. – URL : Высокоскоростные железные дороги в России (дата обращения: 22.10.2024). – Текст : непосредственный.
2. К обоснованию норм сопряжения элементов продольного профиля высокоскоростной специализированной магистрали / Е. П. Блохин, Л. В. Урсуляк, И. И. Кантор [и др.]. – Текст : непосредственный // Транспортное строительство. – 1991. – № 7.–С. 12–15.
3. Кантор, И. И. К обоснованию максимального уклона продольного профиля высокоскоростной специализированной магистрали / И. И. Кантор, В. А. Копыленко, С. Исмагулова. – Текст : непосредственный // Транспортное строительство. – 1990. – № 7. – С. 8–11.
4. Кожинская, Л. И. Выбор параметров высокоскоростной трассы по условию комфортности пассажиров / Л. И. Кожинская. – Текст : непосредственный // Вопросы проектирования высокоскоростных и грузонапряжённых железных дорог : сборник научных трудов Всесоюзного НИИ транспортного строительства / под редакцией И. Д. Ткачевского. – Москва, 1991. – С. 14–22.
5. Стандарт ОАО «РЖД». Инфраструктура линии Санкт-Петербург – Москва для высокоскоростного движения поездов [утверждён Распоряжением ОАО «РЖД» от 26.03.2007 № 476р] // Библиотека нормативной документации (URL : <https://files.stroyinf.ru/>). – URL : <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293794/4293794408.pdf> (дата обращения: 7.09.2024). – Текст : электронный.
6. Бушуев, Н. С. Обзор технических параметров проектирования плана и продольного профиля ВСМ в России за период с 2007 года по настоящее время / Н. С. Бушуев, Д. О. Шульман. – Текст : непосредственный // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2021) : сборник трудов Четвёртой международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Санкт-Петербург, 06–08 октября 2021 года / под редакцией А. А. Краснощека, П. К. Рыбина. Часть 1. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. – С. 26–36. – EDN MGIQUE.
7. Шкурников, С. В. Общие требования к проектированию высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань / С. В. Шкурников, Н. С. Бушуев, В. А. Голубцов. – Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 2(57). – С. 26–29. – EDN TWPGZH.

8. Эксплуатационные и технические параметры специализированных высокоскоростных пассажирских магистралей : сборник научных трудов Всесоюзного НИИ железнодорожного транспорта / под редакцией Е. А. Сотникова, С. С. Жаброва. – Москва : Транспорт, 1989. – 94 с. – Текст : непосредственный.

9. Рыжик, Е. А. Радиусы круговых кривых при проектировании ВСМ-2 «Москва–Казань–Екатеринбург» / Е. А. Рыжик, И. И. Маляревская. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Том 1. – С. 446–452. – EDN YSYSDR.

10. Проектирование высокоскоростных специализированных железнодорожных магистралей : пособие по курсовому и дипломному проектированию / И. И. Кантор, В. А. Копыленко, В. Ю. Козлов, Л. В. Элькина ; под редакцией И. И. Кантора. – Москва : МИИТ, 1996. – 67 с. – Текст : непосредственный.

**А. В. Чонка**

*Уральский государственный университет путей сообщения,  
г. Екатеринбург, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭРМИТОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ПУТИ**

*В свете повышения скоростей движения растут и требования к безопасности и комфортабельности движения, для обеспечения которых необходимо использовать всё более плавные кривые.*

*В работе приводится метод использования эрмитовой интерполяции для получения уравнений, описывающих кривой участок железнодорожной трассы, имеющий нелинейный характер кривизны. Производится верификация рассматриваемого метода относительно уже имеющейся аналитической методики. Освещается возможность синтеза кривых, удовлетворяющих повышенным требованиям к плавности, которые невозможно обеспечить стандартными кривыми. Приводятся некоторые уравнения кривых, полученные описанным методом, и графическое сравнение их характеристик.*

*Ключевые слова: эрмитова интерполяция, нелинейная кривизна, переходная кривая, плавность.*

Развитие железнодорожного транспорта требует повышения скоростей движения и осевой нагрузки подвижного состава [1], что, в свою очередь, неминуемо приводит к повышению нагрузок на путь, которым особо подвержены криволинейные участки. Исследования указывают на то, что стандартные кривые (две клотоиды и круговая кривая) не являются оптимальными, а другие виды геометрии имеют неоспоримые преимущества повышения плавности движения, например: биклотоидная [2, 3, 4, 5, 6, 7], кадиоидная [8, 9] и другие виды геометрии с нелинейной кривизной [10, 11].

Вопросы обеспечения плавности движения неоднократно рассматривались учеными. Например, Г. М. Шахунянц, проанализировав колебания состава в кривой с позиции классической механики, определил потребность в обеспечении нулевого значения первой и второй производных кривизны в конечных точках переходной кривой [12], В. П. Минорский же расширил требование до третьей и четвертой производных [13].

В своей диссертационной работе Булакаева (Морозова) О. С. применила метод эрмитовой интерполяции для получения обобщенного уравнения переходной кривой, позволяющего синтезировать уравнения для частного случая с заданным количеством нулевых производных [14]. В данной статье предлагается применить этот метод для синтеза уравнений кривых с нелинейным характером кривизны, описывающих целое закругление.

Эрмитова интерполяция – это метод полиномиальной интерполяции, позволяющий построить полином, который своими значениями и значениями своих производных до некоторого порядка  $a$  равен рассматриваемой функции и ее соответствующим производным в  $m$  узловых точках:

$$F_0^{(k)}(x_i) = f^{(k)}(x_i),$$

где  $F_0$  – искомый полином;

$f$  – исходная функция;

$x_j$  –  $j$ -ый узел интерполяции ( $j = 1, 2, \dots, m$ );

$k$  – кратность производной ( $0, 1, 2, \dots, a$ ).

В данной работе в качестве исходного интерполяционного полинома принят многочлен общего вида:

$$F_0(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 \dots + c_nx^n = \sum_{i=0}^n c_i x^i,$$

где  $n = (a - 1)m - 1$  – степень полинома.

Его производные:

$$\begin{aligned} F'_0(x) &= c_1 + 2c_2 x + 3c_3 x^2 + \dots + nc_n x^{n-1} = f'(x); \\ F''_0(x) &= 2c_2 + 6c_3 x + \dots + n(n-1)c_n x^{n-2} = f''(x); \\ &\vdots \\ F_0^{(n)}(x) &= n! c_n = f^{(n)}(x). \end{aligned}$$

Так как значения функций и производных в узловых точках известны, можно получить систему линейных уравнений, где неизвестными будут коэффициенты многочлена:

$$\begin{aligned} c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_1^2 + c_3 x_1^3 \dots + c_n x_1^n &= f(x_1); \\ &\vdots \\ c_0 + c_1 x_m + c_2 x_m^2 + c_3 x_m^3 \dots + c_n x_m^n &= f(x_m); \\ c_1 + 2c_2 x_1 + 3c_3 x_1^2 + \dots + nc_n x_1^{n-1} &= f'(x_1); \\ &\vdots \\ c_1 + 2c_2 x_m + 3c_3 x_m^2 + \dots + nc_n x_m^{n-1} &= f'(x_m); \\ &\vdots \\ n! c_n &= f^{(n)}(x_m). \end{aligned}$$

Система уравнений может быть приведена к виду:

$$[C]\{c\} = \{f\},$$

где  $[C]$  – квадратная матрица системы уравнений;

$\{c\}$  – вектор коэффициентов полинома;

$\{f\}$  – вектор граничных условий (значений функции и ее производных).

Развёрнутый вид:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_m & x_m^2 & \dots & x_m^n \\ 0 & x_1 & 2x_1^2 & \dots & nx_1^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & x_m & 2x_m^2 & \dots & nx_m^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & n! \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(x_1) \\ \vdots \\ f(x_m) \\ f'(x_1) \\ \vdots \\ f'(x_m) \\ \vdots \\ f^{(a)}(x_m) \end{Bmatrix}$$

Необходимые коэффициенты полинома получаются решением системы уравнений:

$$\{c\} = [C]^{-1} \cdot \{f\}$$

В отличие от аналитического метода, описанного Булакаевой (Морозовой) О.С., в данном случае предлагается решать систему численно, пользуясь преимуществами компьютерных вычислений. Численный подход, хоть и дает частное решение, но обладает большей универсальностью, так как позволяет задавать произвольные количества узлов и ограничиваемых производных без необходимости в повторном выводе исходных уравнений.

Описание переходной кривой в общем виде имеет форму:

$$\begin{aligned}k(l) &= \frac{1}{R} F_0 \left( \frac{l}{L} \right); \\ \varphi(l) &= \int_0^l k(t) dt = \frac{1}{R} \int_0^l F_0 \left( \frac{t}{L} \right) dt; \\ x(l) &= \int_0^l \cos(\varphi(t)) dt; \\ y(l) &= \int_0^l \sin(\varphi(t)) dt,\end{aligned}$$

где  $l$  – длина кривой до рассматриваемой точки;

$L$  – полная длина кривой;

$k(l)$  – функция кривизны кривой;

$\varphi(l)$  – функция угла поворота кривой;

$x(l), y(l)$  – координаты точек кривой;

$F_0 \left( \frac{l}{L} \right)$  – искомый полином – базисная функция кривизны, определенная в диапазоне  $\left[0; \frac{l}{L}\right]([0; 1])$ , так как  $l \rightarrow L$  и имеющая значения в диапазоне  $[0; 1]$ . Для удобства далее примем  $\tau = \frac{l}{L}$ .

Для верификации численного подхода, описанного выше, произведено вычисление коэффициентов полинома для переходных кривых с двумя граничными точками. Известно, что в начале переходной кривой кривизна должна быть нулевой и достигать своего полного значения в ее конце. Производные же должны равняться нулю на выбранном количестве порядков. Вектор граничных условий примет вид:



$$\left. \begin{aligned} f(x_1) = f(0) = 0 \\ f(x_2) = f(1) = 1 \\ f^{(1,2,\dots,a)}(0) = 0 \\ f^{(1,2,\dots,a)}(1) = 0 \end{aligned} \right\} \therefore \{f\} = \left\{ \begin{aligned} &f(x_1) \\ &\vdots \\ &f(x_m) \\ &f'(x_1) \\ &\vdots \\ &f'(x_m) \\ &\vdots \\ &f^{(a)}(x_m) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} &0 \\ &1 \\ &0 \\ &\vdots \\ &0 \end{aligned} \right\}$$

Таблица 1

**Уравнения некоторых переходных кривых,  
полученных с помощью эрмитовой интерполяции**

| Кол-во нулевых<br>производных в ГУ | Базисная функция, $F_0$                                                                                                           | Степень базисного<br>полинома | Примечания             |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 0                                  | $F_0(\tau) = \tau$                                                                                                                | 1                             | Клотоида               |
| 1                                  | $F_0(\tau) = -2\tau^3 + 3\tau^2$                                                                                                  | 3                             | Кадиоида<br>[15]/Bloss |
| 2                                  | $F_0(\tau) = 6\tau^5 - 15\tau^4 + 10\tau^3$                                                                                       | 5                             | –                      |
| 3                                  | $F_0(\tau) = -20\tau^7 + 70\tau^6 - 84\tau^5 + 35\tau^4$                                                                          | 7                             | «Wiener<br>Bogen»      |
| 4                                  | $F_0(\tau) = 70\tau^9 - 315\tau^8 + 540\tau^7 - 420\tau^6 + 126\tau^5$                                                            | 9                             | «Wiener<br>Bogen»      |
| 5                                  | $F_0(\tau) = -252\tau^{11} + 1386\tau^{10} - 3080\tau^9 + \dots$<br>$+ 3465\tau^8 - 1980\tau^7 + 462\tau^6$                       | 11                            | –                      |
| 6                                  | $F_0(\tau) = 924\tau^{13} - 6006\tau^{12} + 16380\tau^{11} - \dots$<br>$- 24024\tau^{10} + 20020\tau^9 - 9009\tau^8 + 1716\tau^7$ | 13                            | –                      |

Из табл. 1 видно полное соответствие уравнениям, полученным по методу Булакаевой (Морозовой) О.С [14], следовательно, описанный алгоритм можно использовать далее.

Построение полинома по двум точкам дает переходные кривые, которые можно использовать в сочетании с круговой кривой для формирования закругления или сами по себе для формирования би-кривой – вида кривых участков пути, представленного двумя переходными кривыми, соединенными встык, без круговой секции.

В данной работе же предлагается пойти на шаг далее и использовать предложенный метод для получения уравнений, описывающих целую кривую. Для этого необходимо принять модифицированные граничные условия. В рамках данной статьи принято, что кривая симметрична, соответственно, кривизна достигает пикового значения в середине кривой, а самих точек контроля нулевых производных уже три. Вектор граничных условий примет вид:

$$\left. \begin{aligned} f(x_1) = f(0) = 0 \\ f(x_2) = f(0.5) = 1 \\ f(x_3) = f(1) = 0 \\ f^{(1,2,\dots,a)}(0) = 0 \\ f^{(1,2,\dots,a)}(1) = 0 \end{aligned} \right\} \therefore \{f\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{Bmatrix}$$

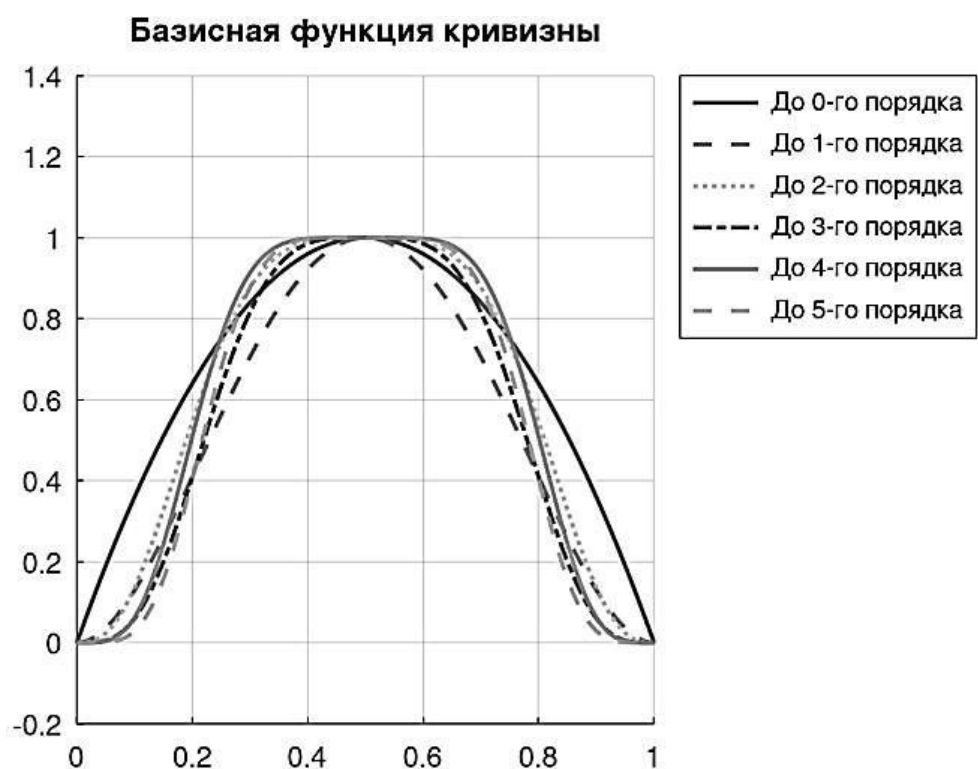
Таблица 2

**Уравнения некоторых кривых,  
полученных с помощью эрмитовой интерполяции**

| Количество нулевых производных в ГУ | Базисная функция, $F_0$                                                                                               | Степень базисного полинома | Примечания            |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 0                                   | $F_0(\tau) = -4\tau^2 + 4\tau$                                                                                        | 2                          | –                     |
| 1                                   | $F_0(\tau) = 16\tau^4 - 32\tau^3 + 16\tau^2$                                                                          | 4                          | Кациоида II типа [15] |
| 2                                   | $F_0(\tau) = -768\tau^8 + 3072\tau^7 - 4864\tau^6 + \dots + 3840\tau^5 - 1536\tau^4 + 256\tau^3$                      | 8                          | –                     |
| 3                                   | $F_0(\tau) = 4096\tau^{10} - 20480\tau^9 + 42240\tau^8 - \dots - 46080\tau^7 + 28160\tau^6 - 9216\tau^5 + 1280\tau^4$ | 10                         | –                     |

Ввиду быстро нарастающей громоздкости уравнений в табл. 2 приведены только некоторые из них. Остальные (4-го и 5-го порядков), тем не менее, так же будут представлены на графиках.

Далее приведены графики характеристик кривых (рис. 1) для иллюстрации различия характеров кривизны в зависимости от порядка нулевых производных.



**Первая производная базисной функции кривизны**

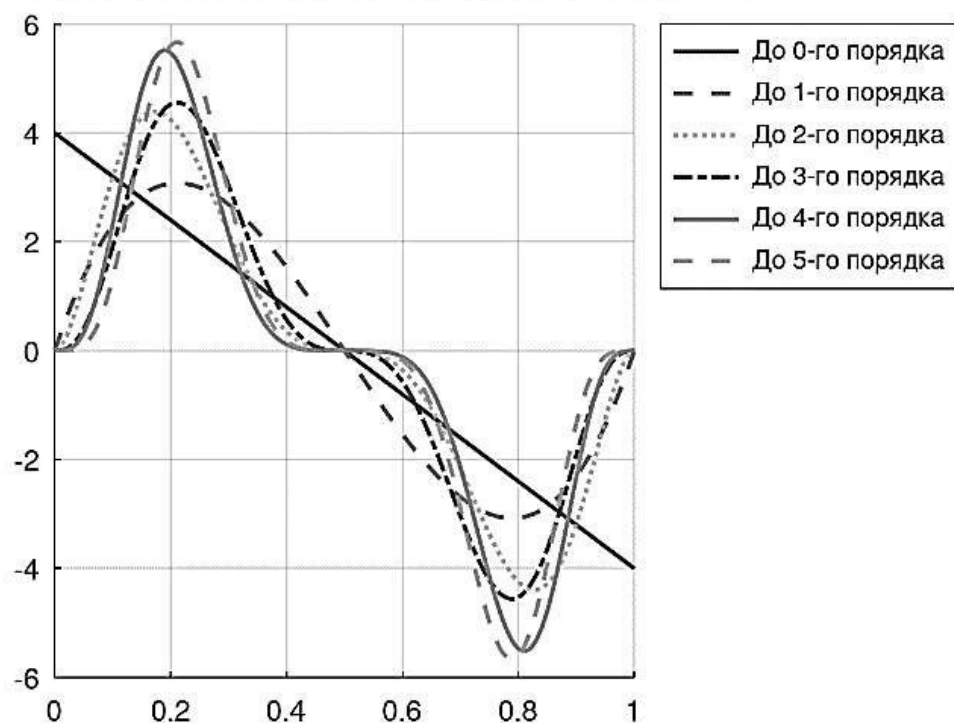
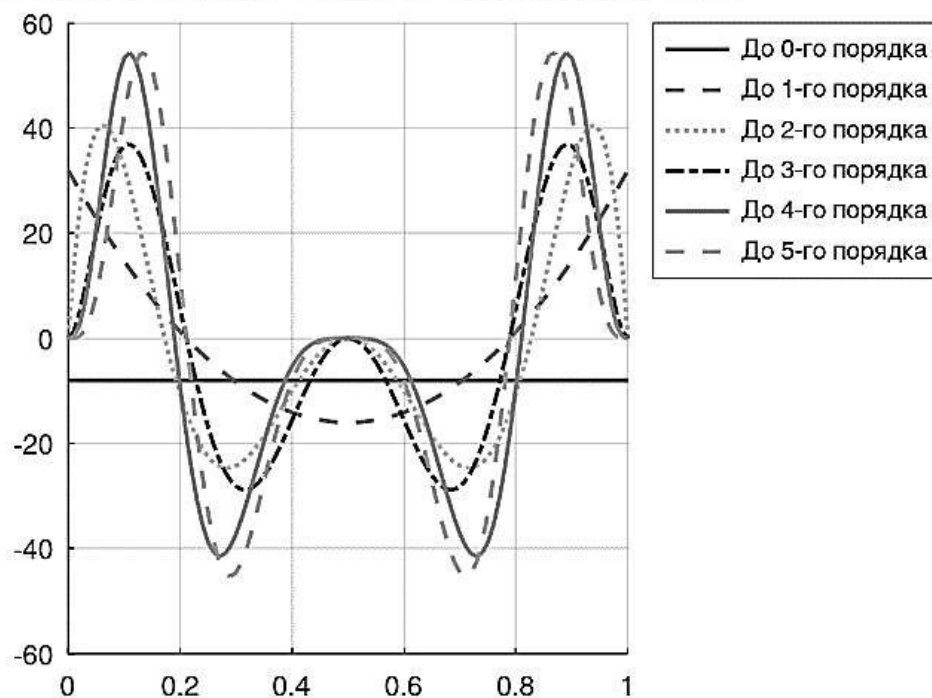


*Рис. 1 (начало).* Сравнение базисных функций кривизны

**Вторая производная базисной функции кривизны**



**Третья производная базисной функции кривизны**

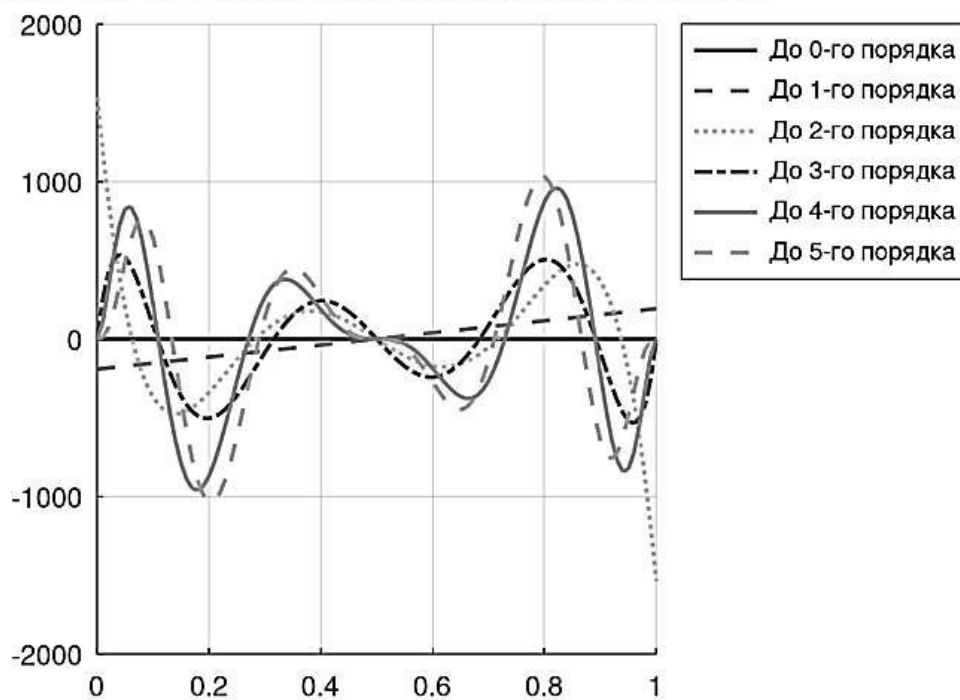


**Рис. 1 (окончание).** Сравнение базисных функций кривизны

Графики углов поворота (рис. 2) и очертания кривых (рис. 3) позволяют сравнить полученные кривые непосредственно.

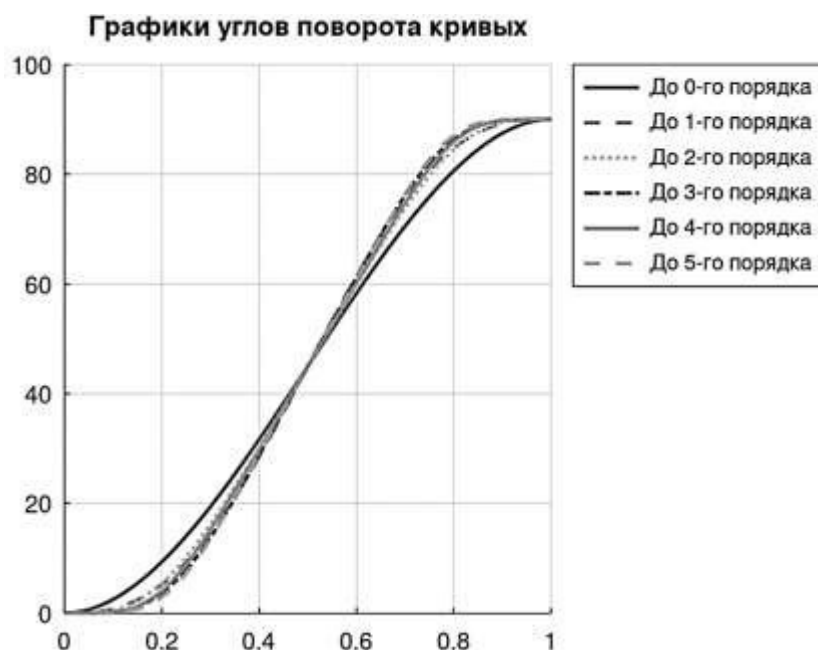


**Рис. 2.** Сравнение графиков углов поворота кривых

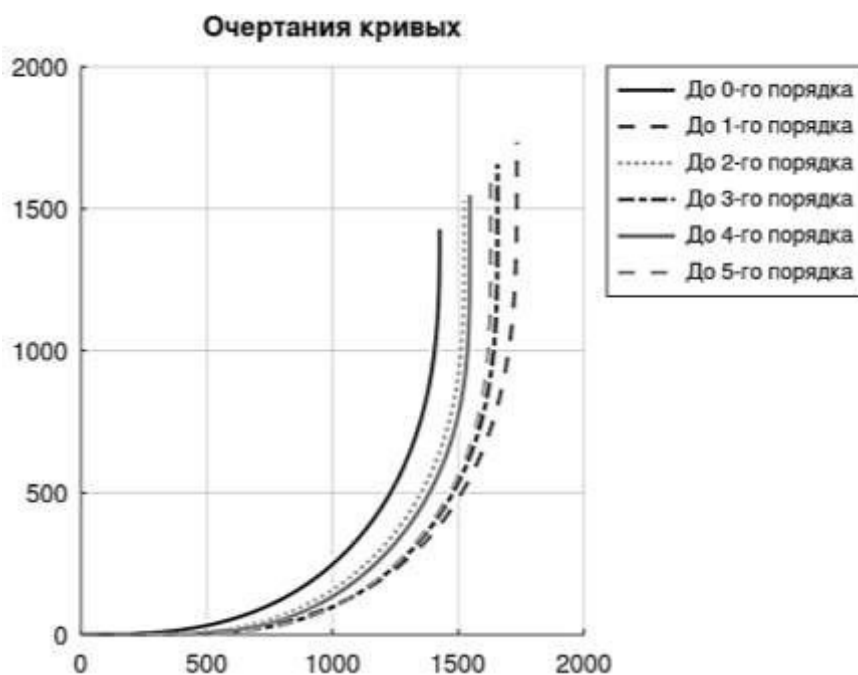


**Рис. 3.** Сравнение очертаний кривых

**Выводы и направления дальнейшего изучения.** Рассмотренный в данной статье метод позволяет создать кривые, соответствующие заданным характеристикам кривизны и удовлетворяющие требованиям плавности, которые не могут быть соблюдены с применением клотоидных кривых, при том полученные уравнения будут описывать целые закругления;



Численный характер метода, полагающийся на вычислительные возможности компьютера, оставляет перспективы манипуляции кривыми не только на уровне кривизны и ее производных, но и на уровне, например, ограничения угла поворота в заданных точках;

Необходима дальнейшая работа по определению практических рекомендаций относительно целесообразного количества нулевых производных при синтезе кривой;

Необходима дальнейшая работа по определению возможности синтеза уравнений асимметричных кривых.

#### *Библиографический список*

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, № 877-р. – Минтранс РФ, 2008. – Текст : непосредственный.
2. Аккерман, Г. Л. Оценка возможности применения биклотоидного проектирования смежных кривых для движения высокоскоростных и тяжеловесных поездов методом имитационного моделирования / Г. Л. Аккерман, Д. А. Кошелев. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – № 5, декабрь 2012. – С. 3–9.
3. Аккерман, Г. Л. Биклотоидное проектирование криволинейных участков железной дороги / Г. Л. Аккерман, С. Г. Аккерман, О. А. Кравченко. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – № 10. – 2010. – С. 20–30.
4. Аккерман, Г. Л. Биклотоидное проектирование S-образных и C-образных смежных кривых для движения тяжеловесных поездов / Г. Л. Аккерман, Д. А. Кошелев. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – № 1(40). – 2014. – С. 18–21.
5. Кравченко, О. А. Биклотоидное проектирование участков железных дорог : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / О. А. Кравченко. – Москва : УПЦ ГИ МИИТ, 2013. – Текст : непосредственный.
6. Кравченко, О. А. Биклотоидное проектирование криволинейных участков железных дорог : дис. канд. техн. наук: 05.22.06 / О. А. Кравченко. – Екатеринбург, 2012. – 147 с. – Текст : непосредственный.
7. Прокопьева, О. А. К вопросу создания энергосберегающих элементов транспортно-логистической инфраструктуры на примере биклотоидного проектирования / О. А. Прокопьева, М. А. Журавская. – Текст : непосредственный // Инновационный транспорт. – № 1, март 2017. – С. 3–7.

8. Чонка, А. В. Расчёт параметров бикадионных кривых / А. В. Чонка. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт и технологии. – 2024. – № 1(256). – С. 155–159.

9. Чонка, А. В. Расчёт параметров кадионных кривых / А. В. Чонка. – Текст : непосредственный // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление. – 2023. – № 7(255). – С. 93–98.

10. Морозова, О. С. Способ улучшения плавности движения в криволинейных участках пути в плане на ВСМ / О. С. Морозова, С. В. Шкурников. – Текст : непосредственный // Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах (РИЛТТРАНС-2019) : сборник трудов. – 2020. – С. 358–367.

11. Морозова, О. С. Применение переходных кривых с нелинейной кривизной и криволинейным отводом возвышения наружного рельса на ВСМ / О. С. Морозова, С. В. Шкурников. – Текст : непосредственный // Путь XXI века : сборник трудов Национальной научно-практической конференции. – 2019. – С. 32–34.

12. Шахунянц, Г. М. К вопросу об устройстве переходных кривых / Г. М. Шахунянц. – Текст : непосредственный // Труды МИИТ. – № 45. – 1936.

13. Минорский, В. П. О функции, определяющей изменение кривизны вдоль переходной кривой / В. П. Минорский. – Текст : непосредственный // Труды МИИТ. – № 47. – 1936.

14. Булакаева (Морозова), О. С. Параметры криволинейных участков трассы высокоскоростных железнодорожных магистралей для условия совмещённого движения : дисс. канд. тех. наук / Ольга Сергеевна Булакаева (Морозова). – Санкт-Петербург, 2020. – 202 с. – Текст : непосредственный.

### РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

**Е. И. Баканова, Г. Р. Ермачков, В. Л. Незевак**  
Омский государственный университет путей сообщения,  
г. Омск, Россия

#### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПРИ ТЕПЛОВИЗИОННОМ ОБСЛЕДОВАНИИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

*Развитие технологий построения высокоавтоматизированных подстанций приводит к изменению процессов регистрации параметров и показателей работы оборудования подстанций, обработки данных, проведения анализа полученной информации и использования её в автоматизированных системах управления технологическим процессом. В области мониторинга технического состояния и диагностирования оборудования техническое зрение позволяет сделать тепловизионное обследование автоматическим, на основании которого может определяться остаточный ресурс работы оборудования. На примере аккумуляторной батареи тяговой подстанции показаны основные этапы реализации технологии технического зрения при тепловизионном обследовании, позволяющие реализовать предиктивные алгоритмы для прогнозирования остаточного ресурса.*

*Ключевые слова: техническое зрение, тяговая подстанция, тепловизионное обследование, подсистема мониторинга, диагностика, техническое состояние, остаточный ресурс.*

Тепловизионное обследование широко используется для выявления развивающихся и аварийных дефектов в электроэнергетике как на электрических станциях, подстанциях и воздушных линиях. В настоящее время в России и за рубежом прорабатывается решение задач использования робототехнических комплексов, применение которых позволит проводить тепловизионное обследование и выполнить анализ результатов без эксплуатационного персонала. Применение указанных технологий обработки подразумевает использование технического зрения для идентификации деталей, узлов, аппаратов и анализа полученных термограмм.

Техническое зрение нашло применение на железнодорожном транспорте, в частности на тяговом подвижном составе для распознавания препятствий на пути поезда, элементов инфраструктуры и различных видов сигналов.

Тепловизоры позволяют получить термограммы, на основании которых проводится анализ нагрева отдельных элементов и определяются градиенты температур по характерным сечениям.

Большинство развивающихся и аварийных дефектов на тяговых подстанциях связано с возникновением повышенного переходного сопротивления в узлах крепления токоведущих частей, силового и коммутационного оборудования, а также с охлаждением указанных узлов и аппаратов.

Алгоритмы машинного обучения позволяют использовать техническое зрение для своевременного обнаружения дефектов и реализации предиктивной аналитики, позволяющей прогнозировать техническое состояние и остаточный ресурс.

Рассмотрим применение технологии технического зрения на примере аккумуляторной батареи, находящейся в эксплуатации на одной из тяговых подстанций железнодорожного транспорта.

Режимы работы аккумуляторных батарей соответствуют буферным и характеризуются длительным режимом подзаряда и относительно редкими разрядами, продолжительность которых определяется временем восстановления нормального режима работы тяговой подстанции. Характерный график подзаряда с контролем целостности цепи аккумуляторной батареи приведен на рис. линии продольного электроснабжения.

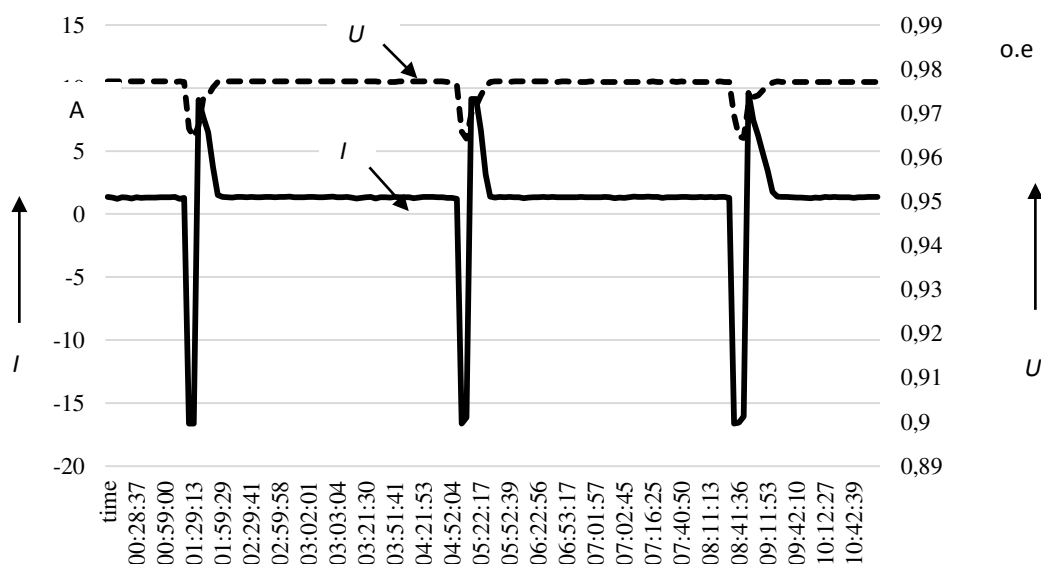


Рис.

1. График тока и напряжения аккумуляторной батареи в режиме подзаряда

В ходе тепловизионного обследования контролируется температура аккумуляторов, оказывающая влияние на срок их службы, а также нагрев контактных соединений. В качестве примера на рис. линии продольного

электроснабжения приведена фотография и соответствующая ей термограмма одного из аккумуляторов батареи на тяговой подстанции.

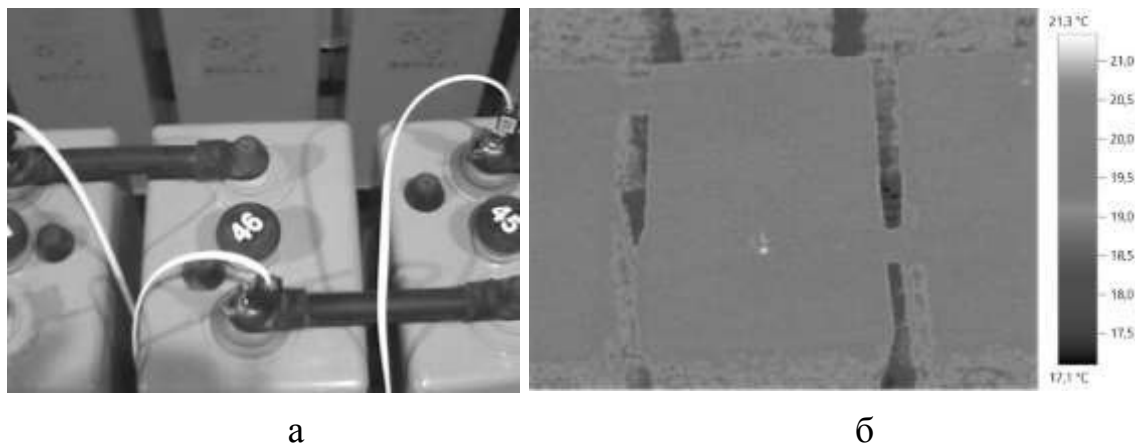


**Рис. 2.** Фотография аккумулятора (а) и его термограмма (б)

На первом этапе при обработке термограмм выполняется фрагментирование по аккумуляторам батареи по количеству их элементов.

Результаты определения координат для положительных клемм аккумуляторов по красному цвету приведены на рис. 3, б.

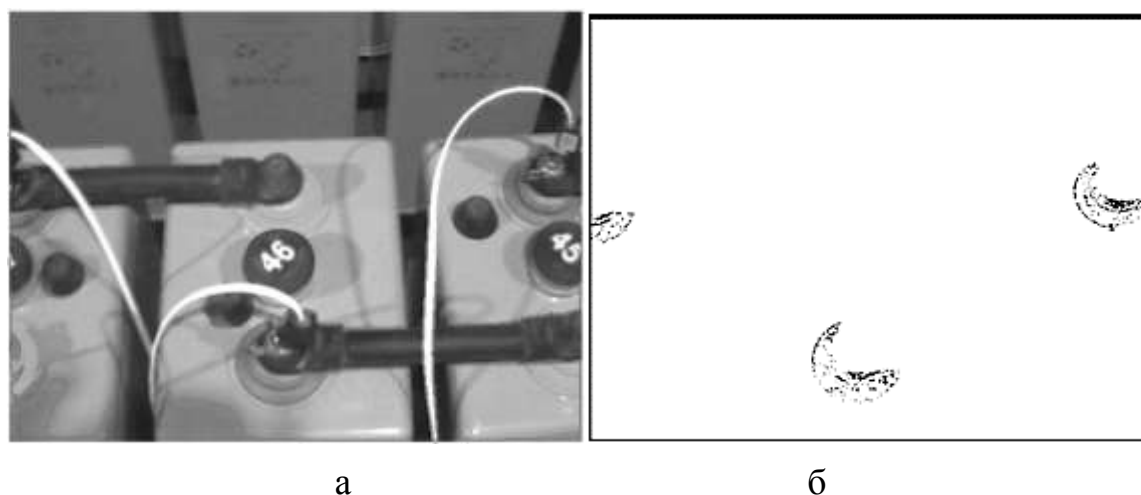


**Рис. 3.** Результаты обработки контура аккумулятора (а), определения координат для положительных клемм (б)

Для распознавания чисел, расположенных на крышке аккумуляторов, используется способ OCR (оптическое распознавание символов), содержащий алгоритмы, которые позволяют идентифицировать текстовые элементы на изображении. Основной задачей способа OCR является



извлечение текстовых символов из цифрового изображения на основе анализа яркости пикселей. Один из широко используемых методов OCR – это метод Tesseract, который применяет многослойную нейронную сеть для классификации символов. Каждый пиксель изображения представляется в виде вектора, передаваемого в нейронную сеть, которая идентифицирует числовые значения.

Результат распознавания номера аккумулятора батареи представлен на рис. 4.



**Рис. 4.** Распознавание номера секции аккумулятора

Для определения температуры клемм на первоначальном этапе выполняется их локализация на термограмме. Задача нахождения координат клемм и их последующей локализации на термограмме решается с помощью оптического изображения соответствующего аккумулятора (рис. 2, б). Для каждой клеммы аккумулятора измеряется максимальная температура на основе пикселей, соответствующих выделенной области (рис. 5). Эти данные затем анализируются для выявления аномальных температурных значений, которые могут свидетельствовать о неисправностях.

Для прогнозирования температуры аккумуляторов батарей в эксплуатации могут использоваться регрессионные модели, переменными для которых будут выступать диагностические параметры и показатели работы аккумуляторов.

Повышение температуры оказывает негативное влияние на срок службы химических источников тока, в том числе свинцово-кислотных аккумуляторов. Повышение температуры окружающей среды приводит к повышению скорости деградации активных компонентов аккумуляторов, снижает срок их службы. Модели для определения срока службы аккумуляторов основаны на законе Аррениуса, который описывает зависимость скорости химических реакций (скорости старения) от температуры.

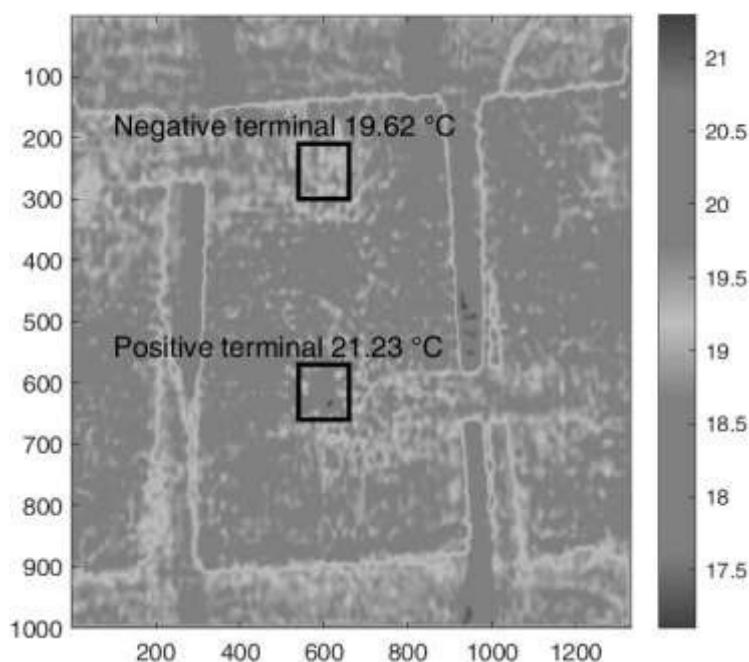


**Рис. 5.** Термограмма с указанием температур аккумуляторов

На основе обработки данных термограмм автоматически формируется отчет, в котором содержится информация о зафиксированной температуре (см. Таблицу).

*Таблица*

**Фрагмент отчётных данных  
температурных карт и скорости деградации**

| Номер | Плюс клемма    |                | Минус клемма   |                | Поверхность,<br>$T_{avg}$ , °C | $N_{T\%}$ |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|-----------|
|       | $T_{max}$ , °C | $T_{avg}$ , °C | $T_{max}$ , °C | $T_{avg}$ , °C |                                |           |
| 30    | 22,63          | 21,16          | 19,58          | 18,15          | 21,20                          | 93        |
| 31    | 21,13          | 20,89          | 18,02          | 16,23          | 21,89                          | 89        |
| 32    | 24,51          | 23,49          | 17,64          | 15,66          | 21,21                          | 93        |
| 33    | 19,35          | 19,04          | 24,62          | 23,83          | 18,20                          | 100       |
| 34    | 19,07          | 18,61          | 18,32          | 17,33          | 23,43                          | 80        |

Применение технического зрения в подсистемах мониторинга технического состояния и диагностики оборудования тяговых подстанций позволяет на основе распознавания границ аккумулятора, его клемм и номера на оптических изображениях, а также данных термограмм, перейти к определению технического состояния и прогнозировать его остаточный ресурс. Оценка остаточного ресурса выполняется с учетом показателей работы аккумуляторов, к которым относятся регистрируемые параметры о токе, напряжении и температуре в различных режимах работы.

Предлагаемый подход может быть использован при построении цифровой тяговой подстанции железнодорожного транспорта при реализации подсистемы мониторинга технического состояния и диагностики оборудования.

*Подготовлено в рамках выполнения государственного задания № ЕКТУ-2024-0001 по теме: «Разработка инновационной системы тягового электроснабжения постоянного и переменного тока с интеллектуальным управлением на базе цифровых технологий».*

#### *Библиографический список*

1. Тепловизионное обследование изогнутых шинопроводов распределительных устройств трансформаторных подстанций / И. В. Гуляев, А. Б. Васенин, С. Е. Степанов [и др.]. – Текст : непосредственный // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2022. – № 6(155). – С. 48–57.

2. Эффективность применения тепловизионного обследования электрооборудования подстанций // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2010. – № 1. – С. 42–45. – Текст : непосредственный.

3. Крюков, А. В. Кластерный анализ результатов тепловизионного обследования электрооборудования тяговых подстанций / А. В. Крюков, В. А. Старчак. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2011. – Том 1. – С. 529–534.

4. Степанов, А. Д. Регрессионный анализ результатов тепловизионных обследований систем тягового электроснабжения / А. Д. Степанов. – Текст : непосредственный // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2014. – Том 2. – С. 123–129.

5. Андреев, Л. Н. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов при обследовании энергетических объектов АПК / Л. Н. Андреев, А. Ю. Клопотной, А. В. Козлов. – Текст : непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 6(98). – С. 149–153.

6. Шуршин, К. Ю. Проведение инженерно-геодезических изысканий объектов топливно-энергетического комплекса с использованием технологий мобильноголазерного сканирования и тепловизионной съемки / К. Ю. Шуршин. – Текст : непосредственный // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 3(28). – С. 10–13.

7. Сидоров, О. А. Определение технического состояния трансформаторов собственных нужд при построении системы мониторинга цифровой тяговой подстанции / О. А. Сидоров, В. Л. Незевак, В. М. Филип-

пов. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 50–57. – DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).50-57.

8. Незевак, В. Л. Моделирование работы системы мониторинга аккумуляторных батарей при реализации концепции цифровой тяговой подстанции / В. Л. Незевак, О. А. Сидоров, Е. И. Баканова. – Текст : непосредственный // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2024. – № 1 (38). – С. 89–98.

9. Concept of intellectual diagnostic system of traction electrical supply devices. Sidorov, O. A., Smerdin, A. N., Philippov, V. M. et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 918(1), 012078. – Текст : непосредственный.

10. Use of sensor networking technology to build a power transformer monitoring system. Smerdin, A., Ermachkov, G., Nezevak, V. et al. E3S Web of Conferences, 2020, 224, 02021. – Текст : непосредственный.

**М. В. Башаркин, И. Р. Харламов**

*Приволжский университет путей сообщения,  
г. Самара, Россия*

### **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИНТЕГРАЦИИ ДАТЧИКОВ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СТДМ ЖАТ**

*В статье представлены основные способы снижения количества отказов кабельных линий. Рассмотрены датчики относительной влажности и температуры воздуха для контроля технического состояния кабеля в негерметизированных наземных муфтах. Проведён анализ интерфейсов датчиков для их интеграции в СТДМ ЖАТ. Разработана матрица рисков разрушения жил кабеля в муфте вследствие коррозии.*

*Ключевые слова: кабельная линия, кабельная сеть, муфта, СТДМ ЖАТ, отказ, относительная влажность воздуха, температура воздуха.*

**Введение.** Анализ статистических данных эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики показывает, что отказы кабельной линии входят в число наиболее частых возникающих [1, 2]. При этом контроль технического состояния не предусмотрен функционалом существующих систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемехани-

ки (СТДМ ЖАТ), а в случае обрыва жил кабеля либо разрушения вследствие коррозии приходится вручную искать место отказа [3]. На устранение такого отказа по сравнению с другими затрачивается больше времени из-за подземного расположения кабельных линий, а по потере поездо-часов кабельные линии занимают 2 место после аппаратуры СЦБ.

Целью работы является проведение анализа способов интеграции датчиков относительной влажности и температуры воздуха в СТДМ ЖАТ.

**Основная часть.** Кабельная сеть является одним из наиболее затратных элементов инфраструктуры систем железнодорожной автоматизации и телемеханики (ЖАТ) с точки зрения капитальных вложений при модернизации систем электрической централизации и новом строительстве. Конфигурация кабельной сети определяется исходя из топологии станции и расположения напольного оборудования. Для минимизации затрат на медный кабель и сокращения времени его восстановления при повреждении, кабельная сеть разбивается на сегменты, каждый из которых соединяется в муфте. Кабельная сеть удовлетворяет требованиям безопасности как канал передачи управляющих воздействий и приема сигналов о состоянии напольных объектов. Известны работы по развитию систем беспроводной передачи информации к напольным объектам [4, 5], однако в настоящее время такой подход не нашел широкого применения, поскольку необходимо подтверждение соответствия требованиям безопасности, предъявляемым к системам ЖАТ. При этом отказы кабельной линии входят в число наиболее частых среди всех отказов технических средств хозяйства ЖАТ [1, 2]. Основные пути решения этой проблемы:

- применение более устойчивого к воздействиям внешней среды кабеля, а также новых типов муфт;
- расширение функциональных возможностей существующих СТДМ ЖАТ в части контроля технического состояния кабельных линий.

По первому направлению проводится модернизация кабельной сети, которая заключается в прокладке кабеля с гидрофобным наполнителем и замене муфт на герметизированные типа РМГ-8П, РМГ-10П (рис. 1, а), конструкция которых обеспечивает защиту в любых условиях эксплуатации, а также МГУ-28П (рис. 1, б), которая, обладая универсальной конструкцией, обеспечивает высокую степень защиты от неблагоприятных факторов [6].

Универсальным решением для соединения и защиты сигнально-блокировочных кабелей является использование подземных соединительных муфт СЦБС-RWD (рис. 2, а) и холодноусаживаемые МСХз (рис. 2, б) совместно с кабелем, в котором предусмотрено гидрофобное заполнение.



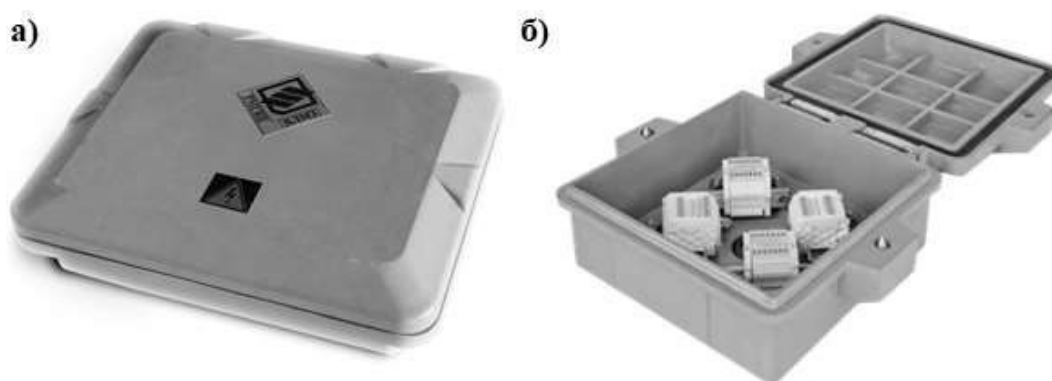


Рис. 1. Герметизированные муфты: а) РМГ-8П; б) МГУ-28П

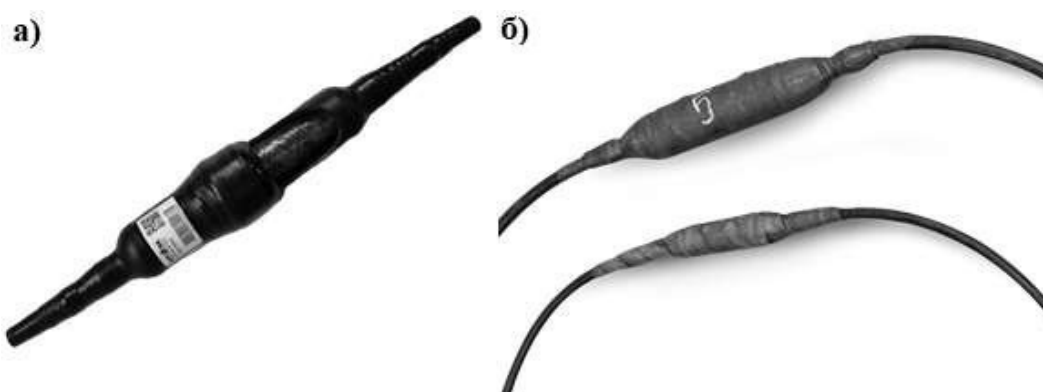


Рис. 2. Подземные соединительные муфты: а) СЦБС-RWD; б) MCX3

Известно, что относительную влажность воздуха как фактор, приводящий к коррозии металлов, следует рассматривать в совокупности с температурой окружающей среды. Таким образом, относительная влажность и температура воздуха являются информативными признаками, на основании которых проводится оценка риска разрушения жил кабеля в муфте. Матрица рисков разрушения жил кабеля в муфте вследствие коррозии, представленная в таблице, разработана на основании исследования [7].

Таблица

**Матрица рисков разрушения жил кабеля в муфте  
вследствие коррозии**

| Температура окружающей среды, °С | Относительная влажность воздуха, % |              |              |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|
|                                  | < 80                               | 80-95        | > 95         |
| < 30                             | Низкий риск                        | Низкий риск  | Низкий риск  |
| 30-50                            | Низкий риск                        | Низкий риск  | Средний риск |
| > 50                             | Низкий риск                        | Средний риск | Высокий риск |

Анализ датчиков показал, что выходной сигнал является либо цифровым и передается по интерфейсной шине I<sup>2</sup>C, либо аналоговым, представляющем собой уровень напряжения, который пропорционален значению относительной влажности/температуры воздуха.

Интеграция в СТДМ ЖАТ в первом случае возможна с использованием макетной платы, например, Arduino Nano (рис. 3).

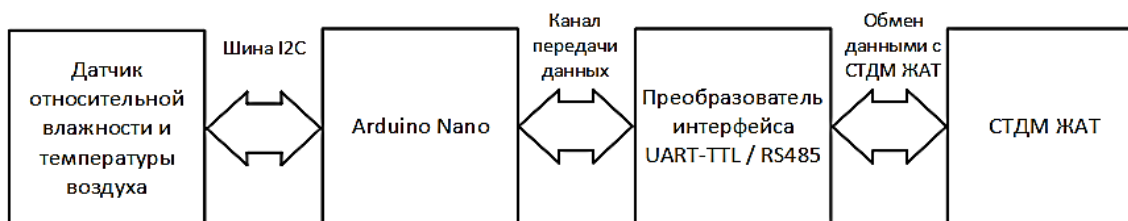


**Рис. 3.** Структурная схема подключения датчика относительной влажности и температуры воздуха по интерфейсу RS-485

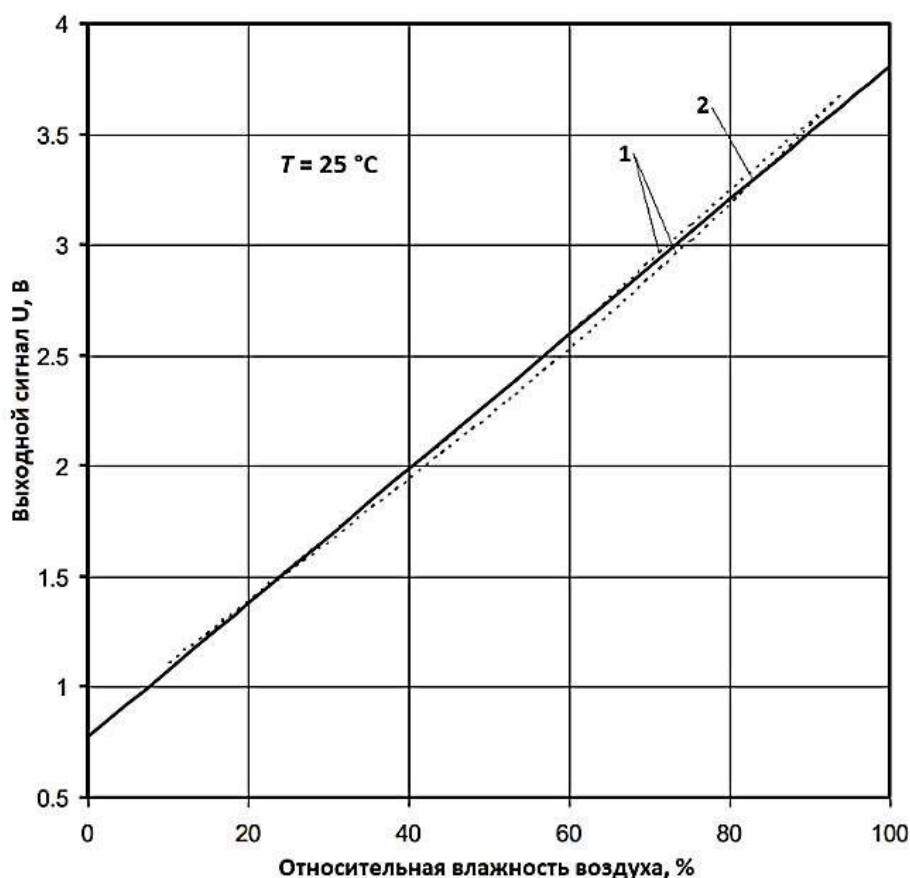


**Рис. 4.** Зависимость значения выходного сигнала с выхода датчика и величины относительной влажности воздуха при  $T = 25\text{ °C}$ : 1 – фактическое значение сигнала с выхода датчика; 2 – идеальная характеристика значения выходного сигнала

В случае аналогового выхода датчика возможны следующие варианты интеграции в СТДМ ЖАТ:

- передача аналогового сигнала с датчика напрямую в СТДМ ЖАТ;
- предварительная обработка в микроконтроллере аналогового сигнала, полученного с датчика, с последующей передачей информации в СТДМ ЖАТ.

В качестве датчика относительной влажности воздуха предлагается использовать НН-4000-003, который имеет размер  $< 1$  см, а ток потребления составляет 200 мкА, что позволяет его устанавливать с автономным источником питания и не подводить дополнительные жилы для обеспечения электроэнергией. Зависимость значения выходного сигнала с выхода датчика и величины относительной влажности воздуха при  $T = 25$  °С приведена на рис. 4.

Интеграция датчиков в СТДМ ЖАТ в этом случае реализуется через плату Arduino Nano, но как поступающий на вход платы, так и передаваемый в СТДМ ЖАТ сигнал является аналоговым (рис. 5).

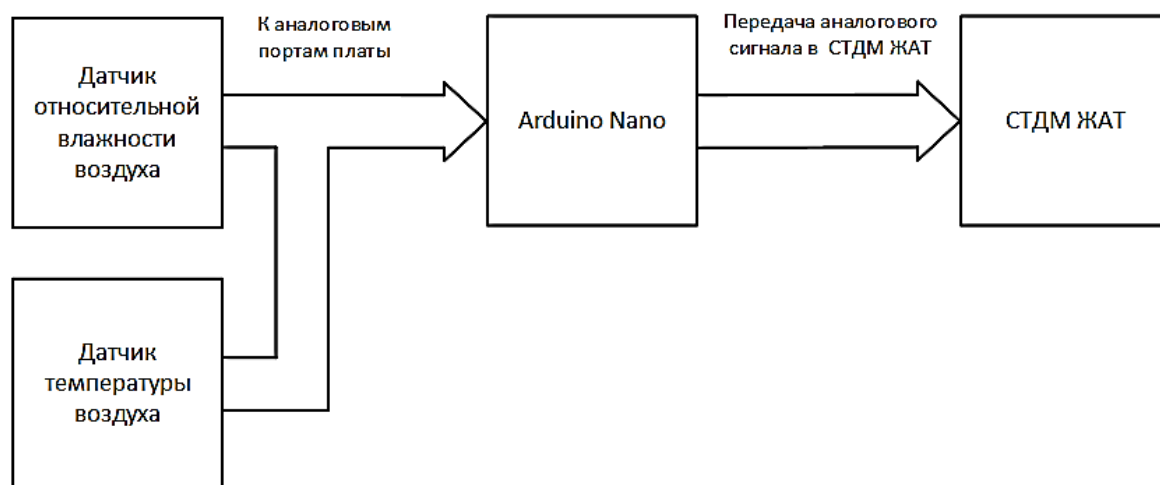


**Рис. 5.** Структурная схема подключения датчиков относительной влажности и температуры воздуха к аналоговому входу

Сигнал с уровнем напряжения 5 В при этом воспринимается системой как низкий и средний уровень риска, а в случае уменьшения напряжения до величины  $< 1$  В, как высокий уровень риска. Анализ измерительных контроллеров показывает, что в СТДМ ЖАТ АПК-ДК на перегоне для приема аналогового сигнала подходит измерительный контроллер АДСУ-24/16, а на станции АKNСИ-8 и ИНС-10.1 [8].

**Заключение.** В ходе работы рассмотрены основные способы интеграции датчиков относительной влажности и температуры воздуха в СТДМ ЖАТ. Выбор типа соединения датчиков с измерительными контроллерами определяется исходя из местных условий и свободных входов для подключения. На следующем этапе необходимо выбрать оптимальные варианты интеграции датчиков в нашедшие наиболее широкое распространение на сети железных дорог Российской Федерации СТДМ ЖАТ.

*Библиографический список*

1. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры за декабрь и 12 месяцев 2020 года. – Москва : ОАО «РЖД», 2020. – 60 с. – Текст : непосредственный.
2. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры за декабрь и 12 месяцев 2021 года. – Москва : ОАО «РЖД», 2021. – 65 с. – Текст : непосредственный.
3. Харламов, И. Р. Разработка устройства мониторинга влажности воздуха в кабельных муфтах СЦБ / И. Р. Харламов, М. В. Башаркин. – Текст : непосредственный // Дни студенческой науки : сборник материалов 51-й научной конференции обучающихся СамГУПС, Самара, 06–26 апреля 2024 года. – Самара : Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 158–160. – EDN GOSELF.
4. Ефанов, Д. В. Будущее радиоуправляемых стрелок с автономным питанием / Д. В. Ефанов. – Текст : непосредственный // Мир транспорта. – 2019. – Том 17, № 1(80). – С. 154–163. – DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-1-154-163. – EDN VWSXQM.
5. Башаркин, М. В. Анализ способов передачи информации о состоянии зазора между острием и рамным рельсом эксплуатационному персоналу дистанции инфраструктуры / М. В. Башаркин, А. В. Крылов, О. И. Петлина. – Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. – 2023. – № 1. – С. 205–207. – EDN JESFKA.
6. Рассказов, В. В. Применение композитного материала SMC / В. В. Рассказов. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 8. – С. 6-7.
7. Авдеева, Л. К. Влияние температуры и влажности воздуха на коррозию цветных металлов / Л. К. Авдеева, Л. В. Годулян // Успехи в химии и химической технологии. – 2023. – Том 37, № 2(264). – С. 21–24.

8. Иванов, А. А. Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) / А. А. Иванов, А. К. Легоньков, В. П. Молодцов. – Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. – 2015. – Том 1, № 3. – С. 282–297.

**К. В. Каргапольцева, Д. А. Малугин, Ю. В. Могильников**  
*Уральский государственный университет путей сообщения,  
г. Екатеринбург, Россия*

### **ВНЕДРЕНИЕ КОДОВОГО ПРИЁМНИКА-ДЕШИФРАТОРА В ПЕРЕГОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*Статья посвящена внедрению кодовых приёмников-дешифраторов в системы автоматики на железнодорожных перегонах.*

*Рассматриваются их функции, способность противостоять электромагнитным помехам и работа в условиях сложных электромагнитных полей, вызванных асимметрией тягового тока. Проведён анализ приёмников и дешифраторных ячеек, описаны их сильные и слабые стороны. Оправдано использование этих приёмников для управления движением поездов, особенно на высокоскоростных участках с высокой плотностью трафика, где требуется точная и надёжная передача сигналов.*

*Ключевые слова:* кодовый приёмник-дешифратор, рельсовые цепи, железнодорожная автоматика, электромагнитные помехи, системы управления движением поездов.

В современных условиях железнодорожного транспорта автоматизация играет ключевую роль в повышении уровня безопасности и эффективности операций. Одним из важнейших компонентов таких систем является кодовый приёмник-дешифратор, который выполняет функции приема и обработки кодированных сигналов, поступающих по рельсовым цепям. Эти устройства являются неотъемлемой частью управления движением поездов, мониторинга состояния инфраструктуры и минимизации рисков аварийных ситуаций, особенно в сложных электромагнитных условиях.

#### **Принципы работы и сравнительный анализ**

Кодовые приёмники-дешифраторы предназначены для приема и декодирования сигналов, которые передаются через рельсовые цепи. Их основная задача заключается в точной передаче и обработке данных, не-



обходимых для эффективного управления движением. Эти устройства способны обрабатывать сложные кодированные сигналы, в отличие от дешифраторных ячеек, которые выполняют лишь базовые функции.

В таблице ниже представлены основные характеристики кодового приемника-дешифратора и дешифраторной ячейки:

Таблица 1

**Сравнение характеристик  
кодowego приёмника-дешифратора и дешифраторной ячейки**

| Параметр               | Кодовый приёмник-дешифратор | Дешифраторная ячейка |
|------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Функциональность       | Высокая                     | Ограниченная         |
| Устойчивость к помехам | Высокая                     | Низкая               |
| Область применения     | Сложные системы             | Простые системы      |

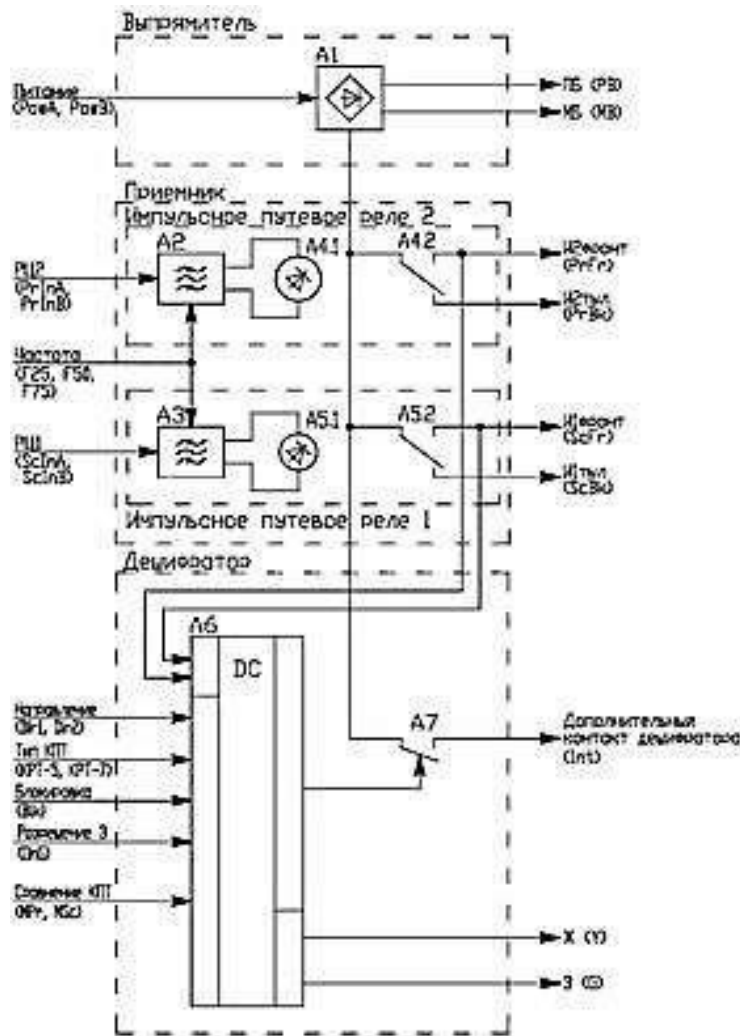


Рис. 1. Функциональная схема ПДК

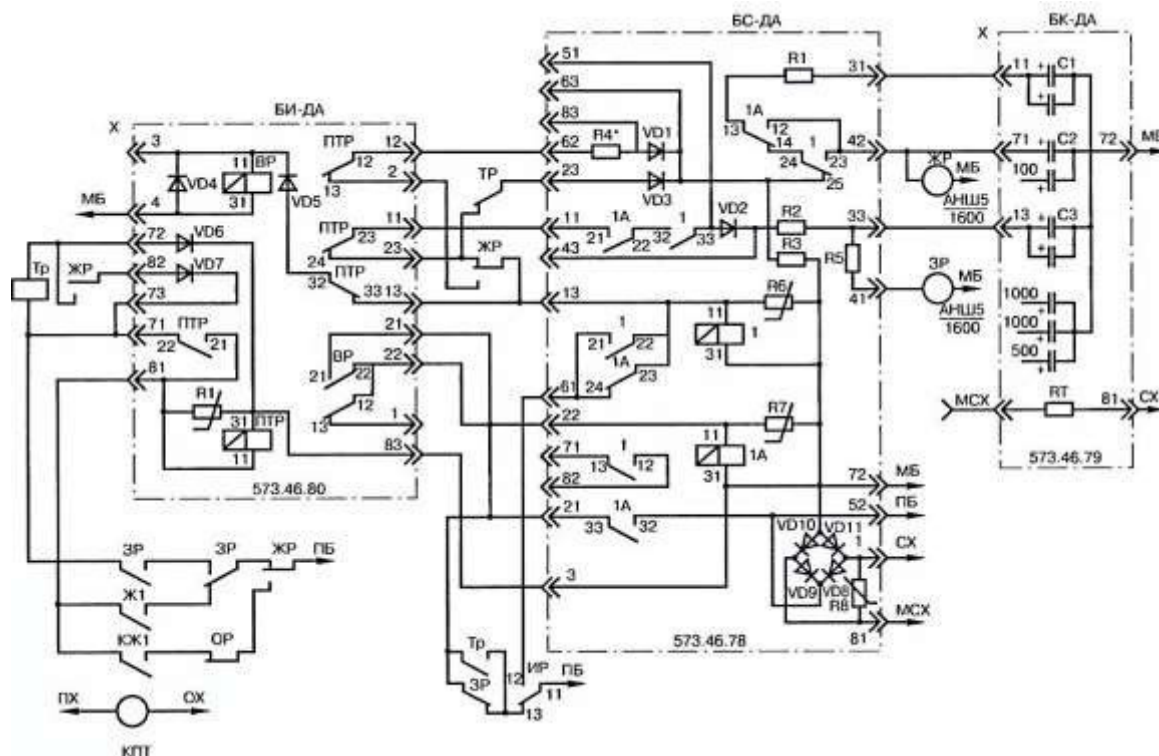


Рис. 2. Функциональная схема дешифраторной ячейки

### Условия применения кодовых приемников-дешифраторов на железнодорожном транспорте

Кодовые приемники-дешифраторы имеют важное значение для обеспечения безопасности и надежности работы железнодорожной инфраструктуры. Они применяются в следующих ситуациях:

1. Системы управления движением: используются для передачи и обработки информации о местоположении и скорости поездов в реальном времени. Это особенно критично для высокоскоростных систем, где требуется моментальная синхронизация и отсутствие задержек. Исследования показывают, что системы кодирования и декодирования сигналов являются жизненно важными для обеспечения безопасности при высокоскоростном движении поездов [1] [2];

2. Мониторинг состояния рельсовых цепей: работа рельсовых цепей может осложняться такими факторами, как асимметрия тягового тока и паразитные электромагнитные поля, что приводит к ошибкам в передаче данных. Исследования показывают, что асимметрия тягового тока может существенно ухудшать работу рельсовых цепей, вызывая искажения сигнала. Кодовые приемники-дешифраторы помогают минимизировать подобные помехи, используя сложные алгоритмы фильтрации и дешифровки [3] [4];

3. Связь между подвижным составом и диспетчерскими пунктами: обеспечивают надежную передачу данных между локомотивами и центральными пунктами управления, что особенно важно в условиях высокой нагрузки на систему, когда ошибка в передаче может привести к сбоям в движении поездов[5].

#### **Влияние электромагнитной обстановки на работу кодовых приемников-дешифраторов**

Кодовые приемники-дешифраторы должны функционировать в условиях, где влияние паразитных магнитных полей может негативно сказаться на точности передачи данных. Это может быть вызвано различными факторами, такими как асимметрия тягового тока.

Необходимость учета этих факторов является ключевым аспектом для повышения эффективности и надежности работы устройств.

#### **Влияние паразитных магнитных полей**

Таблица ниже демонстрирует, как уровень паразитных магнитных полей влияет на точность декодирования:

*Таблица 2*

#### **Влияние уровня паразитных магнитных полей на точность декодирования**

| Условия               | Уровень паразитных полей (мкТл) | Процент точности декодирования (%) |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Нормальные условия    | 10                              | 95                                 |
| Повышенные помехи     | 50                              | 80                                 |
| Экстремальные условия | 100                             | 60                                 |

Внедрение кодовых приемников-дешифраторов в перегонные системы автоматики на железнодорожном транспорте существенно повышает уровень безопасности и эффективность управления движением поездов. Благодаря высокой функциональности и устойчивости к помехам, эти устройства становятся необходимым элементом современной железнодорожной инфраструктуры.

#### **Заключение и перспективы развития**

Внедрение кодовых приёмников-дешифраторов в системы железнодорожной автоматики играет ключевую роль в обеспечении безопасности и надёжности перевозок в условиях повышенной скорости и плотности движения поездов.

С их помощью удастся минимизировать влияние электромагнитных помех, а также повысить точность и надёжность управления движением поездов. Современные разработки в области дешифраторов направлены

на дальнейшее улучшение алгоритмов обработки сигналов, что особенно важно для высокоскоростных магистралей.

В будущем предполагается, что кодовые приёмники-дешифраторы станут ещё более устойчивыми к негативному влиянию внешних факторов, таких как асимметрия тягового тока и паразитные электромагнитные поля. Особое внимание будет уделяться интеграции этих устройств в интеллектуальные системы управления железнодорожным транспортом, что позволит автоматизировать не только процессы движения, но и диагностики состояния инфраструктуры в реальном времени.

Кроме того, продолжаются исследования в области повышения энергоэффективности кодовых приёмников, а также их адаптации к новым стандартам связи и протоколам передачи данных. Введение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения в процесс анализа кодовых сигналов откроет новые горизонты в управлении движением поездов, снижая риск аварийных ситуаций и обеспечивая максимальную безопасность на железных дорогах.

Таким образом, развитие кодовых приёмников-дешифраторов является важным шагом на пути к созданию более безопасной и эффективной железнодорожной системы, которая сможет адаптироваться к растущим требованиям современного транспорта.

#### *Библиографический список*

1. Могильников, Ю. В. Влияние асимметрии тягового тока на работу рельсовых цепей / Ю. В. Могильников. – Текст : непосредственный / Транспорт Урала. – 2015. – № 3 (46). – С. 83–85.
2. Могильников, Ю. В. Системы управления движением поездов в контексте высокоскоростного сообщения / Ю. В. Могильников, К. В. Гундырев, Р. З. Галинуров. – Текст : непосредственный / Транспорт Урала. – 2017. – № 3 (54). – С. 35–40.
3. Могильников, Ю. В. Устройство сигнализации о наличии асимметрии тягового тока в рельсовых цепях. Патент на изобретение RU 2452034 C1, 27.05.2012. Заявка № 2010148685/08 от 29.11.2010 / Ю. В. Могильников, К. В. Гундырев. – Текст : непосредственный.
4. Могильников, Ю. В. Влияние паразитных магнитных полей на приём кода из рельсовой цепи / Ю. В. Могильников, В. А. Баранов, И. Д. Вершинин. – Текст : непосредственный // Транспорт Урала. – 2023. – № 1 (76). – С. 82–87.
5. Могильников, Ю. В. Схема контроля очередности работы реле АБТЦ / Ю. В. Могильников. – Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 1 (73). – С. 126–130.

**Л. В. Козиенко**

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

**О. В. Алямский**

*Могочинский РЦС Читинской дирекции связи ЦСС ОАО «РЖД»,  
г. Могоча, Россия*

## **КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ ОБТС НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОММУТАТОРА SOFTSWITCH**

*В статье рассматривается концепция организации системы общетехнологической связи ОбТС железнодорожного транспорта на основе программного коммутатора Softswitch.*

*Ключевые слова: общетехнологическая связь, ОбТС, технология VoIP, Softswitch.*

Сеть общетехнологической телефонной связи (ОбТС) организуется для предоставления услуг телефонной связи абонентам различных подразделений компании ОАО «РЖД». Система ОбТС относится к категории технологической сети связи, присоединенной к сети связи общего пользования. При этом внутри сети ОбТС могут также образовываться выделенные сети телефонной связи, предназначенные для оказания возмездных услуг пользователям, не относящимся к абонентам технологической связи [1].

Традиционно системы ОбТС строились на базе аналоговых автоматических телефонных станций (АТС) и аналоговых соединительных линий. В 90-е гг. началось внедрение цифровых систем коммутации, которые наряду с цифровыми системами передачи стали основой построения цифровых сетей ОбТС.

В настоящее время все крупные узлы и участки Восточного полигона оснащены цифровыми АТС, однако в ряде случаев, на небольших и малодеятельных станциях, по-прежнему эксплуатируются устаревшие АТС.

Например, на участке Чернышевск – Ксеньевская Забайкальской железной дороги (ЗабЖД) в составе сети ОбТС установлены и эксплуатируются несколько поколений АТС.

Как видно из рис. 1, на станции Чернышевск в Доме связи с 1974 года работает УАТС-49, а на станции Ксеньевская с 1988 года функционирует АТС ЕСК-400Е. Также в период 2011–2019 гг. на участке была проведена модернизация системы ОбТС с установкой цифровых



коммутационных станций СМК-30 КС производства компании «Пульсар-Телеком» (г. Пенза).

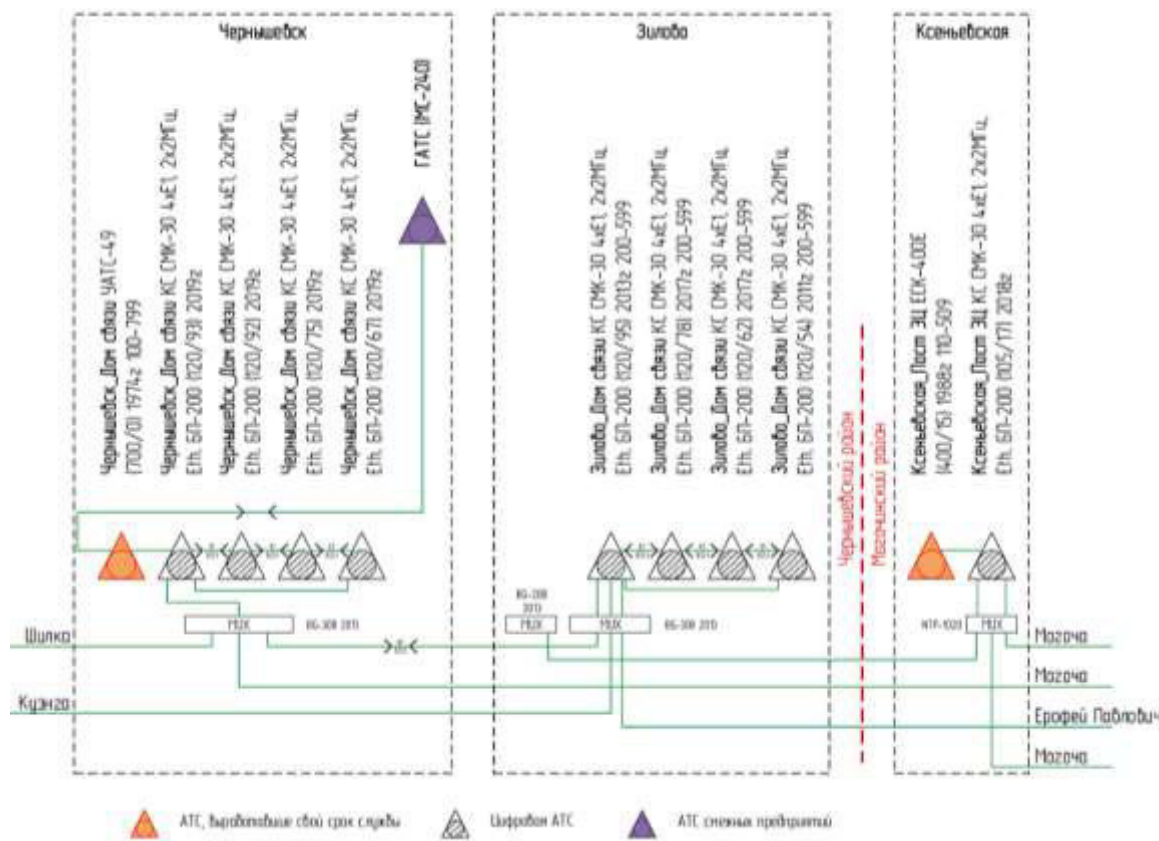


Рис. 1. Схема сети ОБТС на участке Чернышевск – Ксеньевская ЗабЖД

Аппаратура СМК-30 КС соединяется между собой с помощью потоков Е1 и сигнализации DSS1. С коммутационных станций информация передается на мультисервисные мультиплексоры BG-30B, установленные на станциях Чернышевск, Зилово и Ксеньевская. Мультиплексоры BG-30B обмениваются информацией по волоконно-оптическим линиям связи, организованными между всеми станциями Забайкальской железной дороги.

Анализ технической оснащённости участка показывает, что для организации системы общетехнологической связи в основном применяется TDM-технология. Однако сети, использующие данную технологию, имеют как ограниченный ресурс пропускной способности, так и сложности с реализацией новых функций. Более того, принятая ЦСС концепция развития системы связи ОАО «РЖД» предусматривает переход на централизованную архитектуру с использованием VoIP-технологии [2–4].

Переход на VoIP-технологии с интеграцией различных сервисов технологической связи на единой аппаратно-программной платформе позволит:

- использовать единое серверное оборудование, обеспечивающее на программном уровне раздельное функционирование каждой подсистемы с возможностью санкционированного перехода абонентов из одной подсистемы в другую;
- обслуживать вызовы абонентов группы железнодорожных станций одним сервером, который при аварийном режиме, например при отказе сервера соседней группы, принимает на себя обслуживание своей и соседней группы станций;
- организовывать взаимодействие объектов в сети общетехнологической связи по единому стандартному протоколу SIP;
- реализовать дополнительные функции, такие как голосовое меню IVR, автоматическое распознавание речи, речевой синтез, портал абонента, селекторная связь и др.

Основу такой системы составляет программный коммутатор (Softswitch), представляющий собой специальное программное обеспечение, устанавливаемое на аппаратную платформу – сервер. Производительность системы (количество обслуживаемых абонентов, предоставляемые сервисы) зависит исключительно от производительности сервера и при необходимости может масштабироваться путем добавления вычислительных узлов, оперативной памяти и т.п. При таком способе организации системы общетехнологической связи, один программный коммутатор может обслуживать как сегмент дороги, состоящий из нескольких станций, так и всю железную дорогу целиком.

Согласно рис. 2, сервер с программным коммутатором устанавливается в главном управлении железной дороги. Связь с абонентами сети ОБТС на участке дороги может осуществляться по каналам существующей высокоскоростной сети передачи данных (ВСТСПД) ОАО «РЖД». [5, 6] Для этого на каждой станции необходимо установить сервисный маршрутизатор, выполняющий роль узла агрегации, к которому в свою очередь, подключить коммутаторы доступа структурных подразделений, расположенных на данной станции. Между сервисными маршрутизаторами организуются VPN-тоннели с использованием набора протоколов IPSec для сегментации трафика абонентов общетехнологической сети от остальных пользователей ВСТСПД. При необходимости возможно также резервирование каналов IP-ОБТС через сети сторонних операторов (например, АО «Компания ТрансТелеКом»).

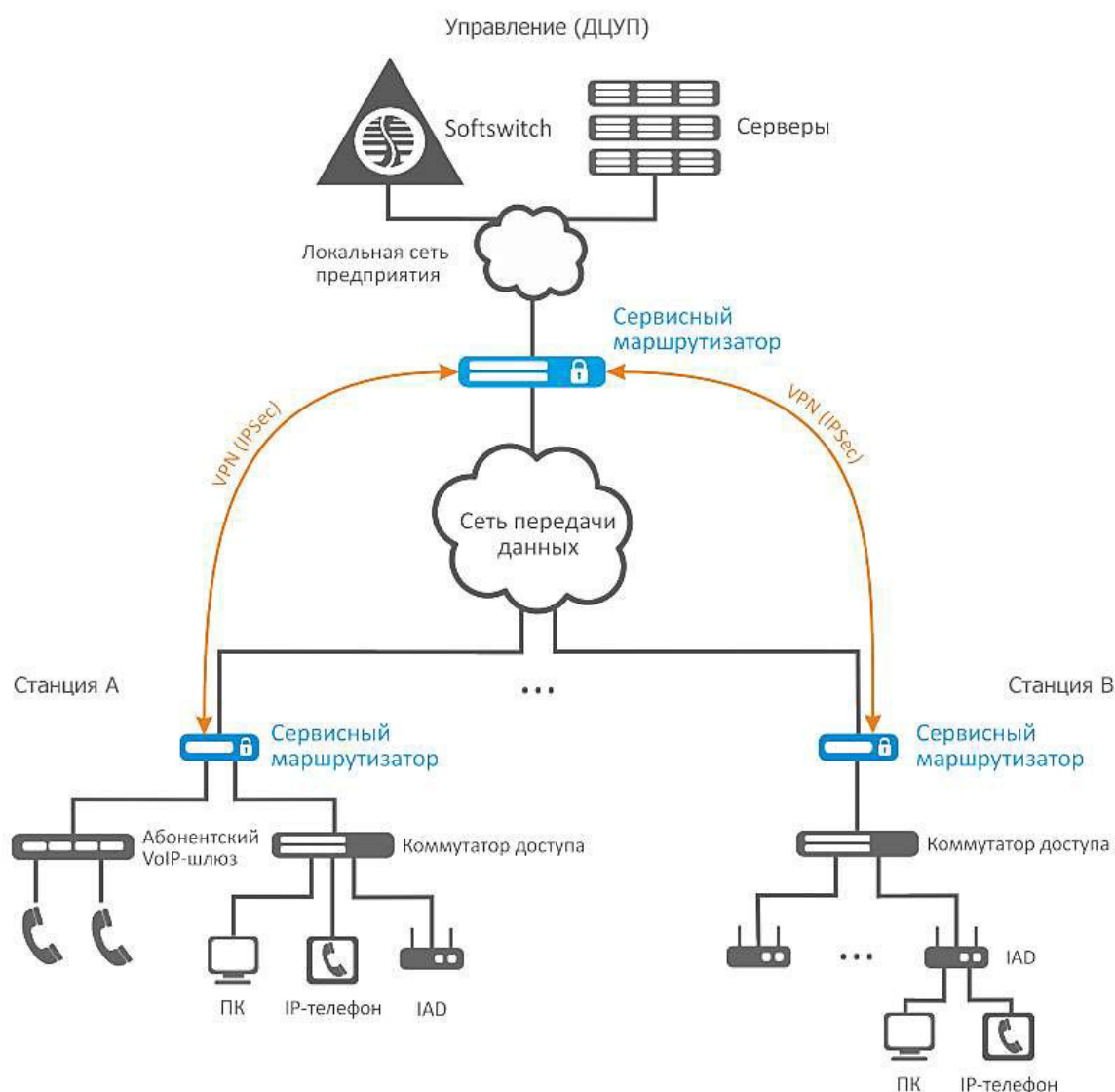


**Рис. 2.** Схема организации сети ОбТС на основе Softswitch

При подключении абонентов на станциях возможны варианты как с заменой аналоговых телефонных аппаратов на полноценные SIP-телефоны (что дороже, но дает существенное расширение функционала и качества связи), так и с установкой специальных VoIP-шлюзов, без непосредственной замены абонентских устройств. Для сопряжения сигнальных и медиапотокa TDM и VoIP-сетей, на соответствующих станциях необходимо дополнительно установить транковые шлюзы, позволяющие согласовывать протоколы TDM сигнализации (SS7, PRI) и соответствующие VoIP протоколы (SIP, H.323).

Таким образом, в качестве терминальных устройств в подобной сети могут использоваться:

- SIP-телефоны;

- цифровые диспетчерские пульта;
- модули расширения;
- аналоговые телефонные аппараты и др.

Функционал комплекса на базе Softswitch, помимо стандартного пакета услуг голосовой связи, включает:

- систему автоматического конфигурирования AutoProvision, предназначенную для настройки параметров и обновления программного обеспечения парка абонентских SIP-телефонов;
- подсистему корпоративной коммуникации с поддержкой аудио и видеозвонков, конференций, обмена сообщениями и файлами как на стационарных, так и мобильных устройствах;
- систему селекторной связи с большим количеством участников, поддержкой шаблонов и планировщика совещаний, диспетчерских SIP-телефонов и панелей расширения;
- другие подсистемы (СОРМ, Call-центр, узел обслуживания вызовов экстренных оперативных служб и т.д.).

Подобная архитектура позволит выстроить не только надежную, многофункциональную аппаратно-программную среду, но и заложить основу инфокоммуникационных сетей связи нового поколения компании ОАО «РЖД».

#### *Библиографический список*

1. Лебединский, А. К. Автоматическая телефонная связь на железнодорожном транспорте / А. К. Лебединский, А. А. Павловский, Ю. В. Юркин. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», Транспортная книга, 2008. – 529 с. – Текст : непосредственный.

2. Система технологической связи нового поколения / А. Н. Слюняев, С. В. Филиппов, И. Д. Блиндер, В. И. Баландин, М. Приятель. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 2–6.

3. Интегрированная цифровая система технологической связи / Д. В. Ананьев, И. Д. Блиндер, В. М. Исайчиков, А. Н. Слюняев. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 1. – С. 2–6.

4. Приятель, М. Цифровизация технологической связи / М. Приятель. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 1. – С. 35–38.

5. Концепция развития первичной сети связи ОАО «РЖД» до 2015 года. – Москва : ЦСС, 2013. – Текст : непосредственный.

6. Канаев, А. К. Концептуальная модель сетей и систем связи железнодорожного транспорта / А. К. Канаев, В. К. Котов, А. К. Лебединский, А. С. Ванчиков. – Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации : журнал о науке, практике, экономике. – 2015. – № 2 (57).

**А. А. Комяков, Л. А. Бартель, В. И. Иванченко**

*Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС),  
г. Омск, Россия*

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ  
СОВМЕСТНОЙ РАБОТОЙ СТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА  
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И БУСТЕРНОГО  
ТРАНСФОРМАТОРА В ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ  
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*В статье представлен алгоритм совместной работы статического генератора реактивной мощности (СГРМа) и бустерного трансформатора. Данный алгоритм позволит более эффективно управлять потерями напряжения и мощности в системе тягового электроснабжения железных дорог переменного тока за счёт управления потреблением реактивной мощности и включением прямой вольтодобавки в случае необходимости. Предлагаемый алгоритм направлен на управление работой, прежде всего, СГРМа, при этом бустерный (вольтодобавочный) трансформатор может быть подключен при необходимости дополнительного усиления эффекта от работы СГРМа по увеличению напряжения и выдаваемой мощности на межподстанционной зоне.*

*Ключевые слова: алгоритм управления, СГРМ, бустерный трансформатор, реактивная мощность, потери напряжения и мощности.*

Компенсация реактивной мощности для снижения потерь мощности и напряжения в тяговой сети является важной задачей в системах электроснабжения железных дорог. Современные СГРМы, такие как СТАТКОМ, при их установке на постах секционирования тяговой сети переменного тока позволяют снизить коэффициент реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  для межподстанционной зоны с 0,73 до 0,54 и приблизить к предельно допустимому значению, а коэффициент мощности  $\cos\varphi$  увеличить с 0,81 до 0,88 и тем самым уменьшить нагрузку на тяговую сеть и потери мощности в ней [1].



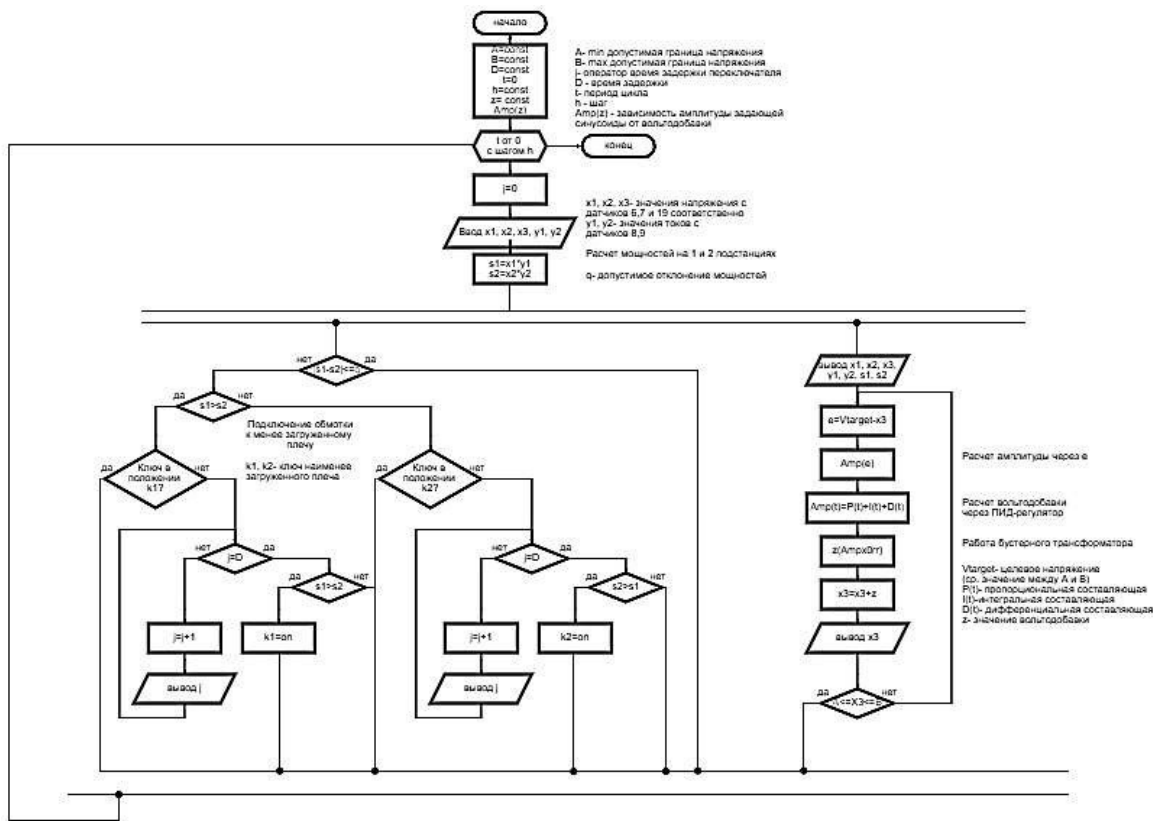
При этом эксперименты показали, что, наряду с успешным повышением уровня напряжения в контактной сети и соответствующим повышением пропускной способности, СГРМ имеет ряд недостатков: значительное превышение установленной мощности в сравнении с потребляемой мощностью тяговой нагрузки, что значительно повышает стоимость установки; значительные потери мощности непосредственно в СГРМе с учетом дополнительного расхода энергии на охлаждение силовых транзисторов.

Одним из вариантов решения данной проблемы является применение комбинированной фильтрокомпенсирующей установки с пониженной мощностью СГРМа в ее составе [2]. Однако другие экспериментальные исследования доказывают, что применение управляемых устройств компенсации реактивной мощности может привести к снижению показателей энергоэффективности при наличии уравнивающих токов [3].

В таком случае эффективным является совместное применение СГРМов и бустерных трансформаторов с тиристорным регулированием, управляемых согласованно по единому алгоритму. Совместное использование СГРМа и бустерного трансформатора на участке электрической железной дороги переменного тока позволит добиться требуемого эффекта стабилизации напряжения в тяговой сети в условиях возрастающей электротяговой нагрузки и наличия уравнивающих токов. Для этого необходимо скоординировать работу данных устройств, чтобы они представляли собой единую регулируемую систему, для чего необходимо разработать управляющий модуль и алгоритмы управления указанными устройствами посредством данного модуля.

Алгоритм управления бустерным трансформатором в системе тягового электроснабжения переменного тока, устанавливаемый в тяговой сети на участках с высокими требованиями к уровню напряжения, ранее был предложен авторами настоящей статьи [4–6]. Рассмотрим этот алгоритм (рис. 1).

Особенностью предложенного алгоритма управления является использование ПИД-регулятора – устройства с пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющими, реагирующими на отклонения между заданным и фактическим значением напряжения, где пропорциональная составляющая реагирует на текущую ошибку, создавая сигнал, пропорциональный величине отклонения; интегральная составляющая учитывает накопленную ошибку во времени, корректируя сигнал для устранения остаточных отклонений; дифференциальная составляющая предсказывает будущие изменения на основе скорости изменения ошибки, помогая смягчить колебания. Предложенный алгоритм



до которого должно быть снижено потребление реактивной мощности на рассматриваемом участке тяговой сети.

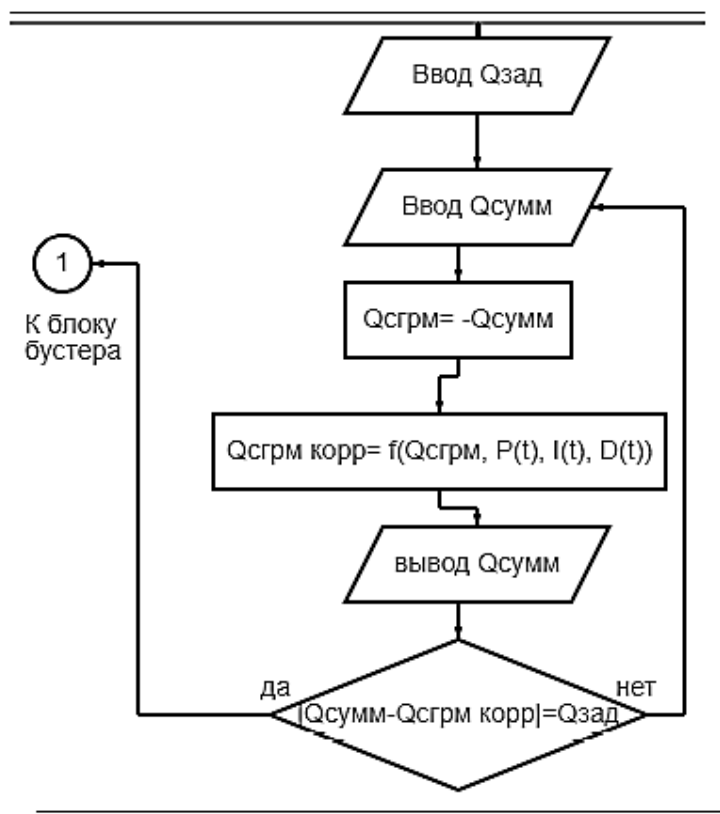


Рис. 2. Алгоритм работы СГРМ

Затем через блок данных «Ввод  $Q_{\text{сумм}}$ » вводится текущее измеренное в точке установки СГРМ значение суммарной реактивной мощности  $Q_{\text{сумм}}$ , потребляемой нагрузкой участка. Далее через блок « $Q_{\text{СГРМ}} = -Q_{\text{сумм}}$ » рассчитывается ошибка регулятора, которая обозначает разницу между текущим и заданным значением реактивной мощности. Она необходима для корректировки выходного сигнала и поддержания требуемого уровня мощности.

Блок расчета « $Q_{\text{СГРМкорр}} = f(Q_{\text{СГРМ}}, P(t), I(t), D(t))$ » – это ПИД-регулятор, рассчитывающий корректирующий сигнал  $Q_{\text{КУ корр}}$  на основе пропорциональной ( $P(t) = K_p \cdot e(t)$ ), интегральной ( $I(t) = K_i \int e(t)dt$ ) и дифференциальной ( $D(t) = K_d (de(t))/dt$ ) составляющих, что позволяет точно регулировать напряжение на бустерном трансформаторе. Где  $P$ ,  $I$ ,  $D$  – пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие, а  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  – их коэффициенты соответственно.

Блок «Вывод  $Q_{\text{КУ корр}}$ » выводит корректирующее значение реактивной мощности.

Условный блок « $|Q_{\text{сумм}} - Q_{\text{СГРМкорр}}| = Q_{\text{зад}}$ » сравнивает текущее значение реактивной мощности, потребляемое в данный момент на участке, с заданным. При выполнении условия « $|Q_{\text{сумм}} - Q_{\text{СГРМкорр}}| = Q_{\text{зад}}$ » данные передаются на блок бустера (бустерного трансформатора) для согласованной работы бустерного трансформатора и СГРМа, что помогает избежать скачков напряжения и сохранять стабильность тяговой сети, корректируя ток и напряжение, улучшая её пропускную способность и энергоэффективность. В противном случае алгоритм выполняет вынужденный переход к блоку «Ввод  $Q_{\text{сумм}}$ » и снова подбирает значение  $Q_{\text{СГРМкорр}}$ , запуская алгоритм. Если после настройки СГРМа напряжение на участке тяговой сети остается недостаточно высоким для обеспечения требуемой пропускной способности, в работу подключается бустерный трансформатор, который дополнительно повышает и стабилизирует напряжение на нужном уровне.

Предлагаемый усовершенствованный алгоритм имеет следующие преимущества:

- более точное и надежное поддержание заданного уровня напряжения;
- снижение нагрузки на систему электроснабжения за счет уменьшения значения циркулирующей на участке тяговой сети реактивной мощности посредством СГРМа;
- обеспечение рационального совместного использования СГРМа и бустерного трансформатора в зависимости от внешних условий в тяговой сети, что снижает энергозатраты и повышает пропускную способность системы тягового электроснабжения;
- снижение эксплуатационных расходов за счет оптимального использования мощности и уменьшения потерь в системе.

Таким образом, поскольку компенсация реактивной мощности в тяговой сети переменного тока посредством СГРМов широко распространена и положительно сказывается на режиме напряжения участков межподстанционных зон, но имеет и негативные проявления, целесообразно применять предложенный усовершенствованный алгоритм управления совместной работой СГРМа и бустерного трансформатора для обеспечения более энергоэффективной стабилизации напряжения в зависимости от величины электротяговой нагрузки.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 24-29-00346 по теме «Применение бустерных трансформаторов с тиристорным управлением для повышения пропускной способности и энергоэффективности участков железных дорог переменного тока».

*Библиографический список*

1. Кремлев, И. А. Применение статических тиристорных компенсаторов и статического генератора реактивной мощности в системе тягового электроснабжения железных дорог / И. А. Кремлев, А. В. Никонов. – Текст : непосредственный // Энергетическая безопасность : сборник научных статей III Международного конгресса. В 2-х томах, Курск, 16–17 октября 2020 года. Том 2. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 40–42. – EDN TMTWHF.

2. Герман, Л. А. Техничко-экономические показатели статического генератора реактивной мощности на посту секционирования тяговой сети железной дороги / Л. А. Герман, К. В. Галкин. – Текст : непосредственный // Интеллектуальная электротехника. – 2023. – № 3 (23). – С. 84–100. – DOI 10.46960/2658-6754\_2023\_3\_84. – EDN BTSGUA.

3. Комяков, А. А. Совместное применение бустерных трансформаторов и статических компенсаторов реактивной мощности для управления режимами работы системы тягового электроснабжения переменного тока / А. А. Комяков, М. М. Никифоров. – Текст : непосредственный // Проблемы безопасности и эффективности технических систем : сборник докладов конференции с международным участием, посвященной 95-летию со дня рождения А. В. Плакса, Санкт-Петербург, 11–12 мая 2023 г. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2023. – С. 67–70. – EDN CWABFT.

4. Komyakov, A., Nikiforov, M., Tarasevich, V., Bartel, L. (2024). Booster Transformers Energy Performance Assessment in the Traction Power Supply System of Railway Transport. In: S. Shmaliy, Y. (eds) 8th International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering (CCIE2024). CCIE 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 1252. Springer, Singapore. – URL : [https://doi.org/10.1007/978-981-97-6934-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-97-6934-6_1). – Текст : электронный.

5. Komyakov, Aleksandr & Tarasevich, Viktor & Bartel, Lubov. (2024). Simulation Modeling of a Booster Transformer Operation in the Railway Traction Power Supply System. – 337–341. – DOI: 10.1109/ICIEAM60818.2024.10553917. – Текст : непосредственный.

6. Бартель, Л. А. Разработка математической модели бустерного трансформатора для системы тягового электроснабжения переменного тока / Л. А. Бартель, В. И. Иванченко. – Текст : непосредственный // ИТ. Наука. Креатив : материалы I Международного форума. В 5-ти томах. Том 1 : Автоматизация, мехатроника, информационные технологии, Омск, 14–16 мая 2024 года. – Москва : Издательско-книготорговый центр «Колос-с», 2024. – С. 7–12. – EDN AFVORK.



**Д. В. Коряков**

*Читинский техникум железнодорожного транспорта,  
г. Чита, Россия*

**О. А. Соловьёва, Е. Д. Шишкин**

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

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ SIMINTECH  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО СТЕНДА  
ПО ИЗУЧЕНИЮ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН  
ПРИ НЕСИММЕТРИИ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ**

*Применение отечественных программных продуктов при моделировании электроэнергетических систем позволяет создавать разнообразные виртуальные стенды для проведения разнообразных лабораторных работ, а также следовать тенденциям импортозамещения в сфере информационных технологий.*

*Ключевые слова: виртуальный лабораторный стенд, асинхронный электродвигатель, силовой трансформатор, несимметричный режим, обрыв фазы, однофазное замыкание.*

Актуальной проблемой при наполнении содержательной части учебы, отвечающей требованиям образовательного стандарта необходимо насыщение учебного процесса виртуальными формами обучения, в том числе активным моделированием в системе SimInTech. Данное программное обеспечение, успешно замещающее импортные программные продукты, позволяет успешно реализовать расчеты наиболее распространенных распределительных сетей – а именно линий 0,4 и 10 кВ и трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ или 6/0,4 кВ. Полученные результаты, в том числе реализуемые в масштабе on – rated позволяют в том числе отслеживать текущий процесс основных электрических характеристик и заданных. Сравнение позволяет скорректировать разночтения программных продуктов. [1].

Данная статья посвящена созданию виртуального стенда по изучению работы электрических машин – силового трансформатора и асинхронного электродвигателя (далее АД) при несимметрии питающей сети именно в отечественно программной среде SimInTech.

Использование отечественного полезного программного комплекса в виде SimInTech позволяет создавать обширную электронную базу рабочих и аварийных режимах любого участка распределенной сети, на основании

которой может быть принято масса проектных и в плане технического перевооружения решений, обоснований и продуманных.

Актуальность моделирования поведения электрических машин при несимметрии питающего напряжения заключается в том, что именно несимметричные режимы сети являются основной причиной выхода электродвигателей из строя [2].

Внешний вид разработанного виртуального стенда показан на рис. 1.

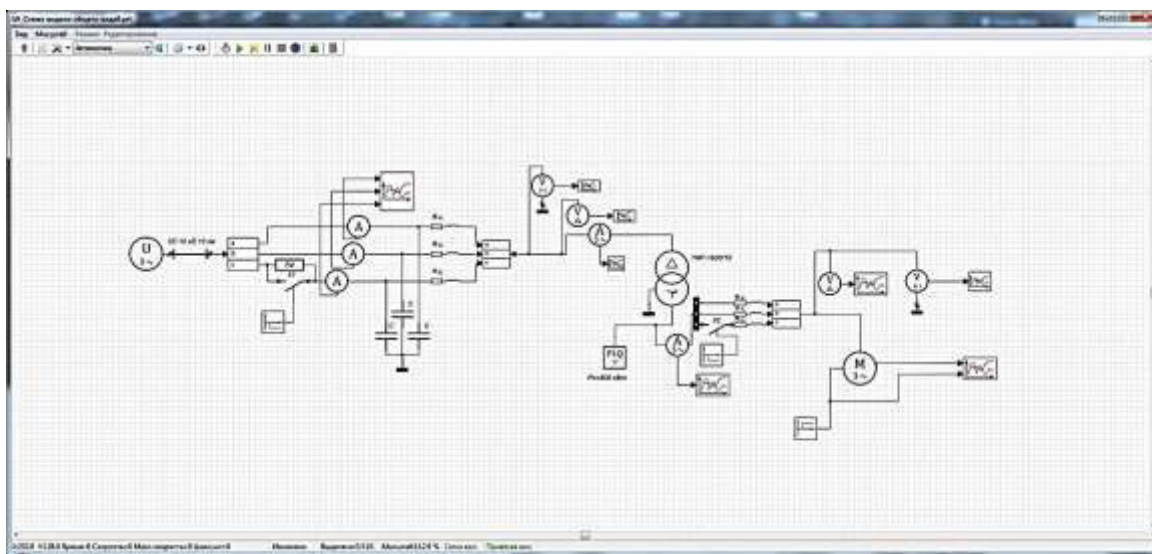


**Рис. 1.** Модель электрической сети в программной платформе SimInTech

Модель, представленная в виртуальном стенде, содержит источник питания бесконечной мощности, модель кабельной линии 10 кВ длиной 10 км, силовой трансформатор ТМГ-1600/10 с группой соединений Y/Δ-11, асинхронный двигатель 4АА56А4 мощностью 0,12 кВт и модель кабеля 0,4 кВ. Также модель содержит блок нагрузки мощностью 800 кВт для увеличения загрузки трансформатора. Параметры всех блоков модели могут изменяться в их свойствах в соответствии с расчетами, проведенными для реальных элементов электрической сети. [3, 4, 5]

Измерительная часть модели представлена блоками идеальных амперметров, измеряющих фазные токи, и идеальных вольтметров, измеряющих фазные и линейные напряжения по сторонам 10 и 0,4 кВ.

В модели рассматриваются следующие несимметричные режимы работы сети: несимметрия напряжения по стороне 10 кВ (ключ K1, резистор  $R_d$ ); обрыв фазы на линии 0,4 кВ (ключ K2). Сопротивления  $R$ , индуктивности  $L$  и емкости  $C$  имитируют параметры линий 10 кВ и 0,4 кВ на аварийных участках.

Выполним имитацию возникновения несимметрии напряжения фазы С относительно земли путем включения в фазу дополнительного резистора  $R_d$ , по величине соответствующему 15 % снижению фазного напряжения. Установим время возникновения аварии  $t = 0,2$  с (как и для следующего случая). На рис. 2 и рис. 3 приведены графики напряжений на стороне 10 и 0,4 кВ, на рис. 4 – токов трансформатора и АД.

В результате проектирования несимметрии по фазе В выяснилось, что при имитации на стороне высокого напряжения в фазе С происходит изменение напряжений и в фазах А, В, в следствие классических законов Ома. Программными измерениями и проводимыми подтверждено, что эти величины могут колебаться до  $\pm 15$  %. Соответственно линейные напряжения фаз А и С могут принять значения, отличающиеся на эту величину.

При этом меняется и значение тока в фазах, согласно приведенных на осциллограммах значениях.

Очевидно, что подобный длительный режим работы будет опасен как для самого АД так и для силового трансформатора.

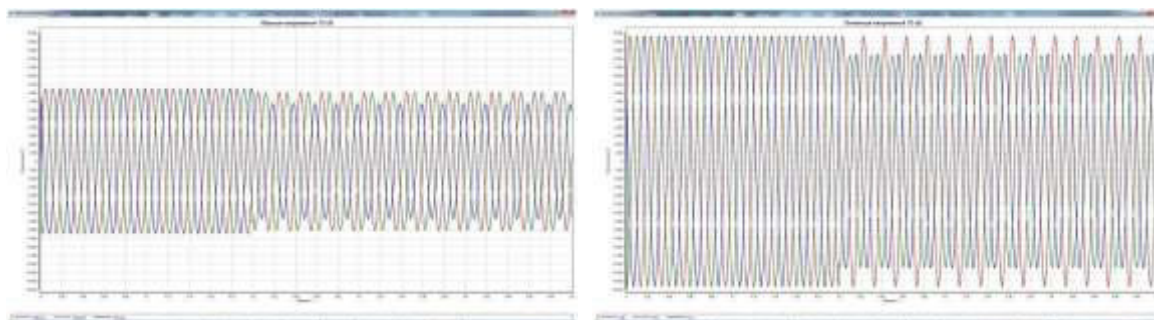


**Рис. 2.** Осциллограммы напряжений на стороне 10 кВ

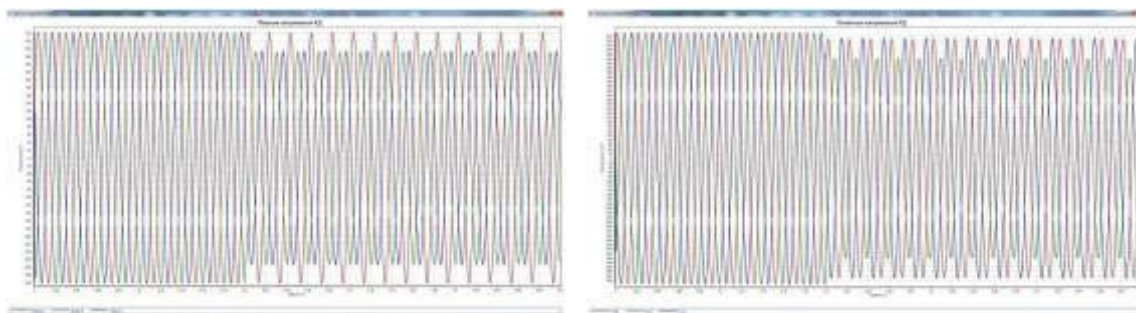


**Рис. 3.** Осциллограммы напряжений на стороне 0,4 кВ

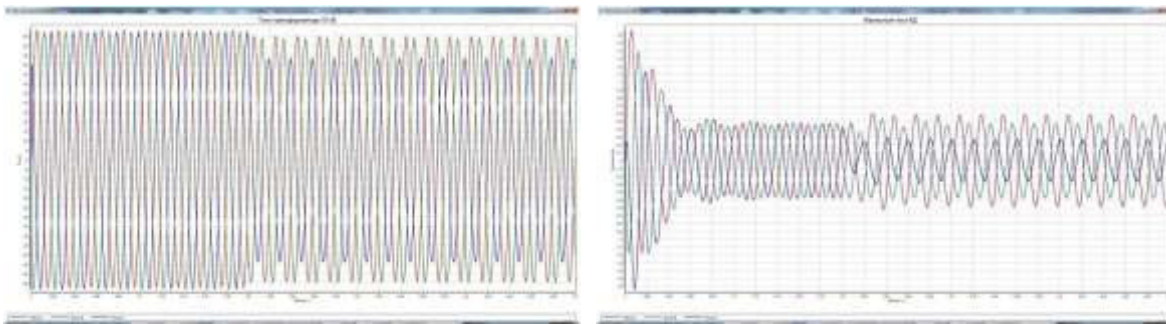


**Рис. 4.** Осциллограммы токов трансформатора и АД

Теперь смоделируем случай обрыва одной из фаз на стороне 0,4 кВ в линии питания АД.

Очевидно, что на работу трансформатора данный режим существенного влияния не окажет, поскольку мощность АД существенно ниже мощности трансформатора. Поэтому рассмотрим только осциллограммы токов и напряжений для стороны 0,4 кВ (рис. 5-6).

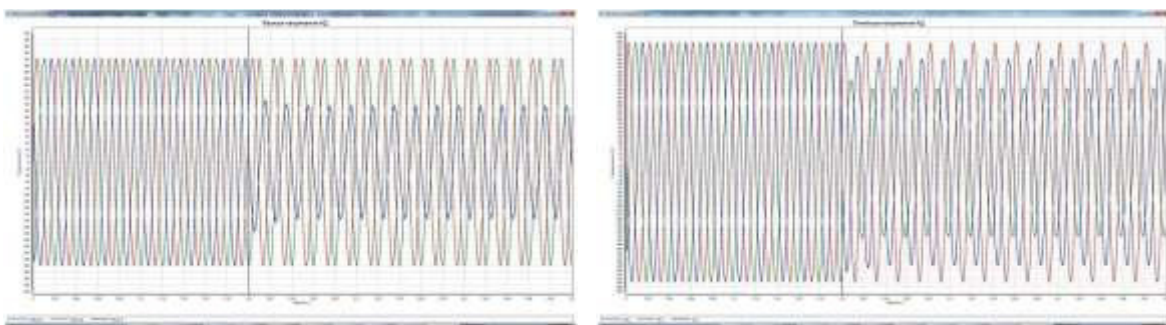


**Рис. 5.** Осциллограммы напряжений на стороне 0,4 кВ

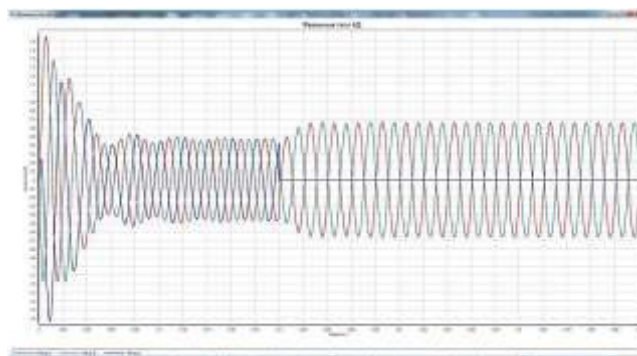


**Рис. 6.** Осциллограммы токов АД

Из осциллограмм видно, что несмотря на обрыв фазы С, на соответствующей обмотке АД все же присутствует фазное напряжение, вдвое



меньшее, чем у фаз А и В. Объясняется это взаимоиндукцией между обмотками АД и влиянием сопротивления линии 0,4 кВ.

Треугольник линейных напряжений также нарушается, причем наименьшим будет напряжение между фазами А и В.

Ток в поврежденной фазе С отсутствует. Токи в фазах А и В противоположно направлены и примерно на 30 % превышают ток нормального режима. При таком режиме работы АД достаточно быстро перегревается и выходит из строя, что подтверждается многолетним опытом эксплуатации.

*Вывод:* крайне важно при эксплуатации электроустановок, учитывать возможные колебания параметров нормального режима в указанных пределах.

#### *Библиографический список*

1. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде SimInTech : практикум / С. И. Лиходеев ; Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Издательство ВлГУ, 2023. – 135 с. – Текст : электронный.
2. Грундулис, А. О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве / А. О. Грундулис. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 110 с. – Текст : непосредственный.
3. Проектирование силового масляного трансформатора : учебное пособие / А. Л. Встовский, С. А. Встовский, Л. Ф. Силин. – Красноярск : ИПК СФУ, 2007. – 116 с. – Текст : непосредственный.
4. Асинхронные двигатели серии 4А : справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлафф, В. И. Афонин. – Москва : Энергоатомиздат, 1982. – 504 с. – Текст : непосредственный.
5. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети : учебник для вузов / В. И. Идельчик. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с. – Текст : непосредственный.
6. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебник для вузов / В. А. Андреев. – Издание 4-е, переработанное и дополненное. – Москва : Высшая школа, 2006. – 639 с. – Текст : непосредственный.



**А. В. Крюков, И. С. Овечкин**

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

## **ВЛИЯНИЕ НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМОВ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА РАБОТУ НЕТЯГОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

*Качество электроэнергии (КЭ) на шинах 0,4 кВ подстанций, подключенных к технологическим ЛЭП железнодорожного транспорта, определяется режимами работы тяговой сети и питающих ЛЭП 110–220 кВ. Для повышения бесперебойности электроснабжения ответственных потребителей могут использоваться неполнофазные схемы работы этих ЛЭП, характеризующиеся пониженными показателями КЭ. Их допустимость в условиях негативного влияния тяговых нагрузок требует дополнительных исследований, которые на современном этапе должны проводиться на основе цифрового моделирования. Для его реализации можно эффективно использовать методы и средства определения режимов систем электроснабжения железных дорог (СЭЖД) в фазных координатах и программный продукт Fazonord. В статье представлены исследования, направленные на решение сформулированной задачи и приведены результаты расчёта эффективных значений напряжений на шинах, к которым подключаются нетяговые потребители (НП), при обрывах фаз в питающей ЛЭП 220 кВ.*

*Ключевые слова: электроснабжение железных дорог, неполнофазные режимы, моделирование.*

**Введение.** Актуальность проблемы разработки адекватных средств моделирования режимов СЭЖД подтверждается выполненным авторами обзором отечественных и зарубежных публикаций по данной тематике. Так, например, вопросы эффективности использования линий «два провода-рельс; (ДПР); в качестве источника питания НП рассмотрены в [1]. Результаты определения КЭ в ЛЭП ДПР представлены в [2, 3]. Причины недостоверности учета электропотребления в ЛЭП ДПР линиях «два провода – рельс» проанализированы в [4]. Решение задачи расчета наведенных напряжений в ДПР приведено в [5]. Модели для анализа КЭ в СЭЖД описаны в [6, 7]. Вопросам улучшения КЭ посвящена работа [8].

**Результаты моделирования.** Для определения типовой СЭЖД, схема которой показана на рис. 1, применялся мультифазный подход, предложенный в работах [9, 10] и реализованный в комплексе программ (КП) Fazonord [11]. На этой основе проведено моделирование се-

рий режимов при движении поездов на частоте 50 Гц и частотах высших гармоник (ВГ); при этом тяговые нагрузки формировались путем имитации движения поездов по участку с реальным профилем пути. Кроме расчета уровней напряжения в узловых точках сети и потоков мощности по ее ветвям рассчитывались показатели КЭ по гармоническим искажениям.

На схеме, приведенной на рис. 1, представлены следующие элементы: питающие двухцепные ЛЭП 220 кВ, выполненные проводами марки АС-400; пять тяговых подстанций (ТП) с трансформаторами ТДТНЖ-40000-220/27,5; четыре участка тяговой сети (ТС) с протяженностью в 50 км, в состав которых входили контактные подвески ПБСМ-95+МФ-100 и рельсовые нити Р-65.

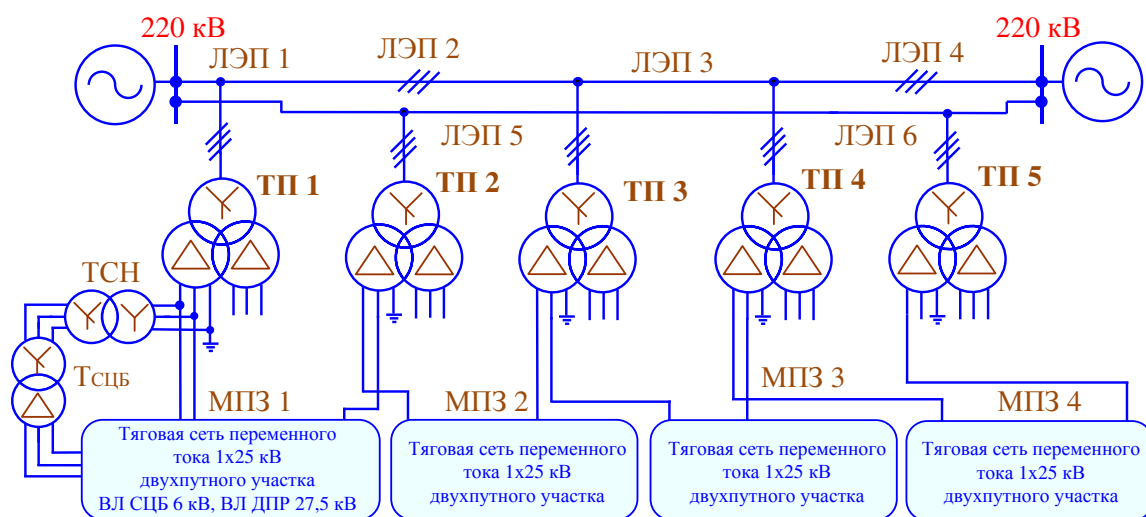


Рис. 1. Схема системы электроснабжения

В первой межподстанционной зоне были представлены модели технологических ЛЭП ДПР 27,5 кВ и ВЛ СЦБ 6 кВ, обеспечивающие электроснабжение нетяговых потребителей. Два провода линии ДПР марки АС-35 располагались на опорах контактной сети с полевой стороны. В качестве третьего использовались рельсы. Токоведущие части ВЛ СЦБ напряжением 6 кВ предполагались смонтированными на отдельных опорах.

К линиям ДПР и ВЛ СЦБ присоединились комплектные подстанции (КТП) с трансформаторами ТМ-250/27,5/0,4 и ТМ-63/6/0,4 (рис. 2). На каждую фазу шин 0,4 кВ КТП подключались нагрузки  $5 + j3,75$  кВ·А при линии ДПР и  $2 + j1,5$  кВ·А для ВЛ СЦБ.

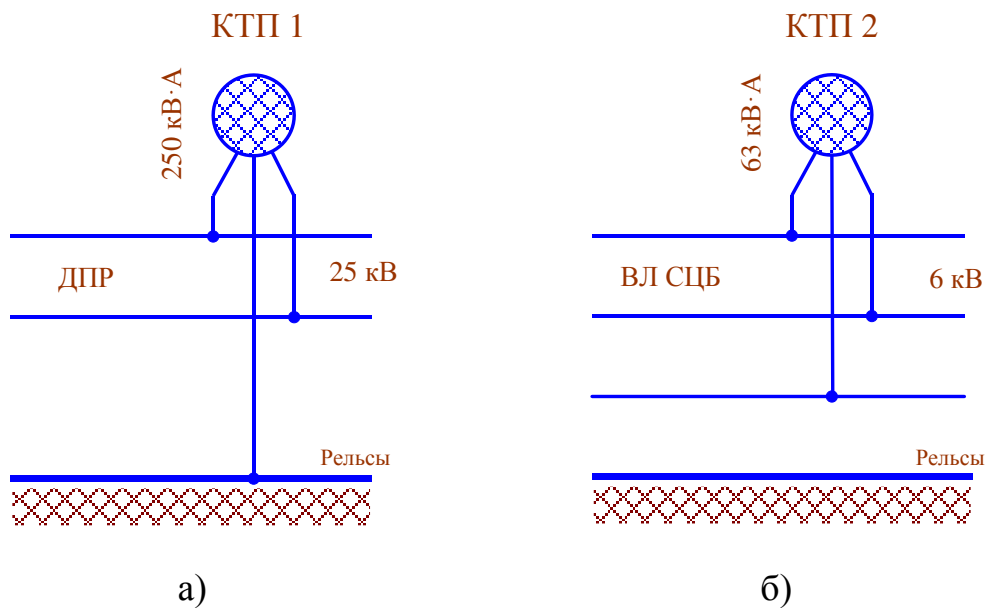


Рис. 2. Схема линий ДПР (а) и ВЛ СЦБ (б)

На рис. 3 представлены зависимости эффективного напряжения  $U_{\Sigma}$  в сети 220 кВ на 30 км для исходного и неполнофазного режимов. Обрыв фазы А имитировался на подходе питающей ЛЭП к первой тяговой подстанции. Величина  $U_{\Sigma}$  определялась по формуле:

$$U_{\Sigma} = U_1 \sqrt{1 + k_U^2},$$

где  $U_1$  – напряжение основной частоты;  $k_U$  – суммарный коэффициент гармоник.

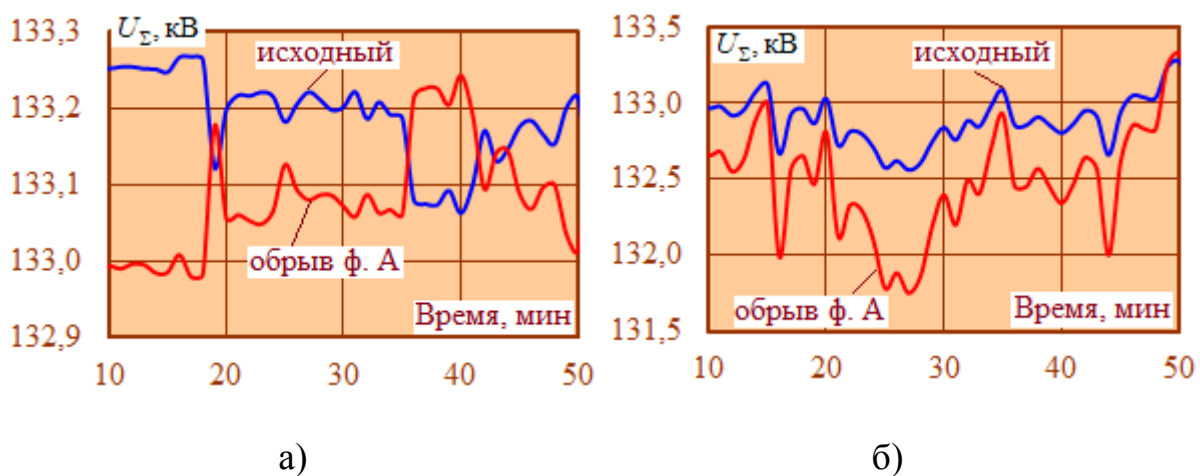


Рис. 3 (начало). Эффективное напряжение фаз А (а), В (б) и С (в) на стороне 220 кВ



в)

**Рис. 3 (окончание).** Эффективное напряжение фаз А (а), В (б) и С (в) на стороне 220 кВ

Из рис. 3 видно, что при обрыве провода ЛЭП 220 кВ средние значения  $U_{\Sigma}$  фаз А и В снижаются по сравнению с исходным соответственно на 120 и 280 В, а для С имеет повышение на 270 В. Максимальное различие между  $U_{\Sigma}$  в нормальном и неполнофазном режиме наблюдается для фазы В и достигает 810 В.

Более заметные отклонения

$$\delta U_{\Sigma} = U_{\Sigma}^{(u)} - U_{\Sigma}^{(n)}, \quad (1)$$

проявляются на шинах 0,4 кВ КТП, подключенной к ВЛ СЦБ (рис. 4) и ДПР (рис. 5). В формуле (1) верхний индекс «и» отвечает исходному, а «н» – неполнофазному режиму. Для первой КТП минимальный уровень в схеме с продольной несимметрией равен 203 В, а для второй – 197 В; при этом для КТП ДПР в исходном режиме он составляет 194 В. Максимум  $U_{\Sigma}$  в нормальной схеме для КТП, подключенной к ВЛ СЦБ, отвечает фазе С и достигает 233 В. На шинах 0,4 кВ КТП ДПР он наблюдается на фазе В и равен 223 В. В базовом режиме ЛЭП 220 кВ величины  $\max[U_{\Sigma}^{(u)}]$  для КТП ВЛ СЦБ и ДПР соответственно равны 233 и 223 В. Для неполнофазной ситуации  $\max[U_{\Sigma}^{(n)}]$  составляют 237 и 231 В.

Таким образом, неполнофазный режим приводит к заметным изменениям диапазонов вариации напряжений обеих КТП:

$$\Delta U_{\Sigma} = \max[U_{\Sigma}] - \min[U_{\Sigma}].$$

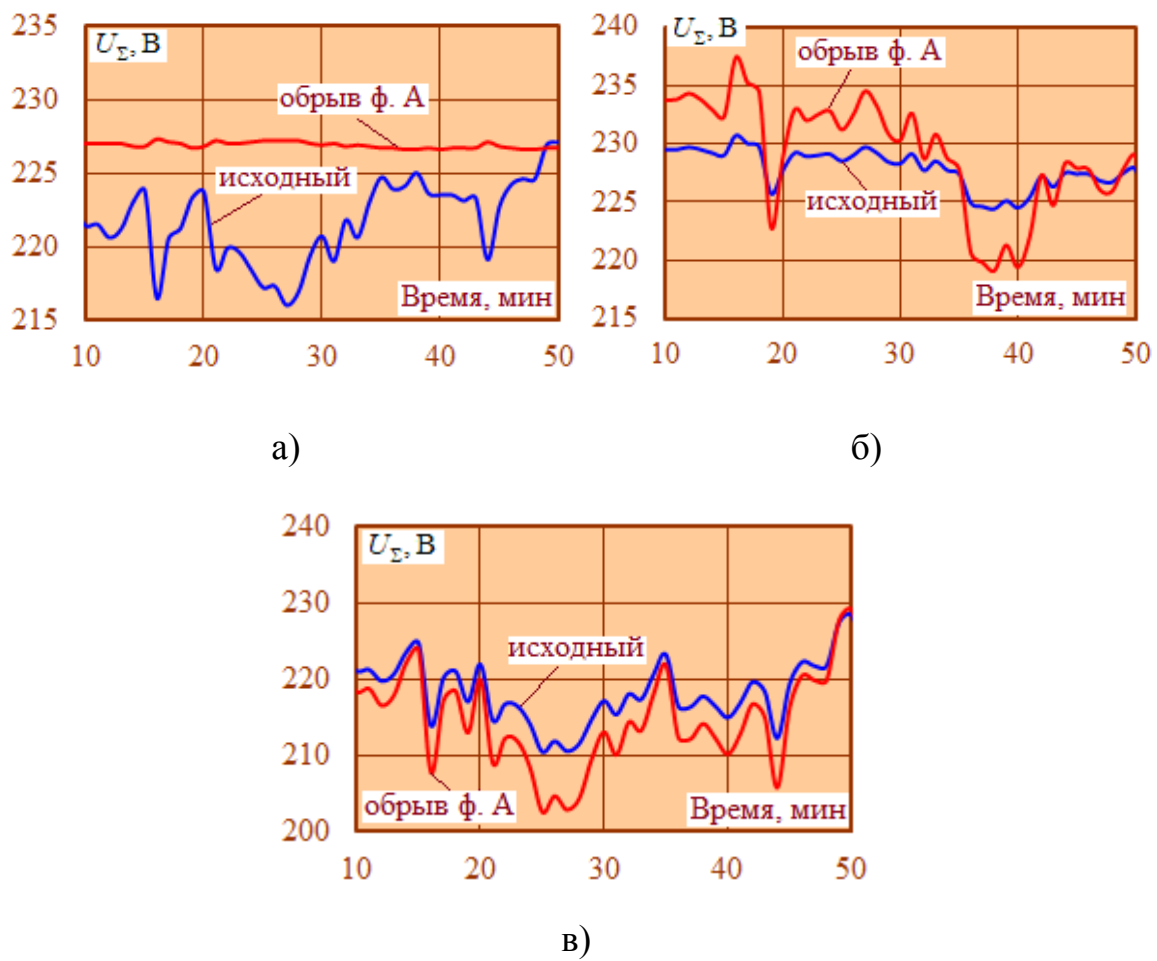


Рис. 4. Эффективное напряжение фаз А (а), В (б) и С (в) на стороне 0,4 кВ КТП СЦБ



Рис. 5 (начало). Эффективное напряжение фаз А (а), В (б) и С (в) на стороне 0,4 кВ КТП ДПР





в)

**Рис. 5 (окончание).** Эффективное напряжение фаз А (а), В (б) и С (в) на стороне 0,4 кВ КТП ДПР

В нормальном режиме  $\Delta U_{\Sigma}$  для КТП ВЛ СЦБ и ДПР соответственно равны 22,5 и 35 В, а для КТП ДПР: 29 и 34 В. Т.е. имеет место рост на 55 и 20 %. Для стабилизации уровней  $U_{\Sigma}$  на шинах 0,4 кВ КТП, от которых получают электроэнергию ответственные потребители, могут применяться следующие мероприятия:

- установка пофазно управляемых источников реактивной мощности [12];
- использование активных фильтров ВГ и стабилизаторов напряжения.

Следует отметить, что в неполнофазном режиме заметно увеличивается температуры  $\vartheta_{НТТ}$  наиболее нагретых точек тяговых трансформаторов. На рис. 6, в качестве примера, показан график  $\vartheta_{НТТ} = \vartheta_{НТТ}(t)$ : при этом средние значения возрастают на 9 %, а максимумы на 20 %.



**Рис. 6.** Температура наиболее нагретой точки трансформатора ТП 1

**Заключение.** Разработаны компьютерные модели, позволяющие моделировать динамику изменений  $U_{\Sigma}$  на шинах 0,4 кВ КТП, подключенных к ЛЭП ВЛ СЦБ и ДПР. Модели реализованы в комплексе программ Fazonord, отличаются универсальностью и могут применяться на практике для рационального выбора мероприятий по улучшения качества электроэнергии на зажимах ответственных потребителей, относящихся к особой группе по бесперебойности электроснабжения.

*Библиографический список*

1. Емцев, А. Н. Линии ДПР электрифицированных железных дорог как источник питания нетяговых потребителей / А. Н. Емцев, Н. М. Шумаков, В. А. Фадеев. – Текст : непосредственный // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – Том 2. – 2010. – С. 3–8.
2. Финоченко, Т. Э. Исследование режимов работы и качества электроэнергии в линиях ДПР / Т. Э. Финоченко. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – № 3. – 2002. – С. 60–62.
3. Черепанов, А. В. Анализ влияния тяговой сети на качество электроэнергии в линии ДПР и разработка мероприятий по его устранению / А. В. Черепанов, А. А. Абзаева. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – № 2 (12). – 2021. – С. 131–141.
4. Семенова, Е. Ю. Причина недостоверности учёта потребления электроэнергии на линиях «два провода – рельс» продольного электроснабжения электрифицированного транспорта / Е. Ю. Семенова. – Текст : непосредственный // Электричество. – № 9. – 2021. – С. 67–72.
5. Семенова, Е. Ю. Исследование наведённого напряжения в линии продольного электроснабжения / Е. Ю. Семенова. – Текст : непосредственный // Электричество. – № 8. – 2020. – С. 23–28.
6. Dolara; M. Gualdoni; S. Leva. A Reduced multiconductor transmission line models for power quality analysis in railway systems. 2012 IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power. 2012. Publisher: IEEE. – Текст : непосредственный.
7. Tetiana Serdiuk. Electromagnetic Compatibility and Power Quality of Traction and Non-Traction Consumers. 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE. 2020. | Publisher: IEEE. – Текст : непосредственный.
8. Yevgen Sokol; Volodymyr Zamaruiev; Volodymyr Ivakhno; Bohdan Styslo. Improving the Quality of Electrical Energy in the Railway Power Supply System. 2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and

Nanotechnology (ELNANO).2018. Publisher: IEEE. – Текст : непосредственный.

9. Закарюкин, В. П. Сложнонесимметричные режимы электрических систем / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков. – Иркутск : Издательство Иркутского университета, 2005. – 273 с. – Текст : непосредственный.

10. Закарюкин, В. П. Моделирование систем тягового электроснабжения постоянного тока на основе фазных координат / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков. – Москва : Директ-Медиа, 2023. – 156 с. – Текст : непосредственный.

11. Свидетельство об офиц. регистр. программы для ЭВМ № 2024668329 (РФ) «Fazonord – AC-DC для расчётов режимов систем электроснабжения переменного и постоянного тока в фазных координатах с учетом движения поездов» / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков // Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Зарегистр. 06.08.2024. – Текст : непосредственный.

12. Управление режимами систем электроснабжения железных дорог на основе технологий интеллектуальных сетей (smart grid) / Г. О. Арсентьев, Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, А. П. Куцый, Нгуен Ван Хуан, А. В. Черепанов, Чан Зюй Хынг ; под редакцией А. В. Крюкова. – Иркутск : ИрГУПС, 2019. – 414 с. – Текст : непосредственный.

**А. С. Маниковский, Д. Д. Сатышев**

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

## **АНАЛИЗ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ**

*Использование математических методов для анализа временных рядов позволяет определить их характеристики и предсказать будущие значения. Первоначальная обработка данных – важный этап анализа, от результатов которого зависят дальнейшие исследования. На этом этапе часто сталкиваются с проблемой отсутствия данных, что может усложнить или даже сделать невозможным последующий анализ. Восстановление пропусков является оптимальным решением, позволяющим чётко представить структуру данных и интерпретировать полученные показатели.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, электропотребление, пропуски данных, восстановление пропущенных значений, нейронные сети.*

Пропущенные значения во временных рядах (ВР) электропотребления (ЭП) могут возникнуть по разным причинам. К наиболее распространенным относятся: нарушения в работе системы фиксирования данных и устройствах передачи, изменения в системе составления отчетности, ошибки сотрудников и т.д. Перед анализом важно восстановить пропущенные данные, что позволяет правильно оценить структуру данных и интерпретировать результаты [1].

В качестве объекта исследования был выбран временной ряд электропотребления ТП Чита ЗабЖД, охватывающий период с 2020 по 2023 годы. В данном временном ряде зафиксированы пропуски данных.

Существует множество подходов к восстановлению пропущенных значений, которые можно классифицировать по степени сложности и эффективности:

- линейная интерполяция;
- прогнозирование при помощи одиночных моделей;
- нейросетевые методы.

Была смоделирована ситуация, при которой фиксирование данных потребления ЭЭ было нарушено на протяжении 48 часов (рис. 1), что позволит оценить эффективность исследуемых методов.

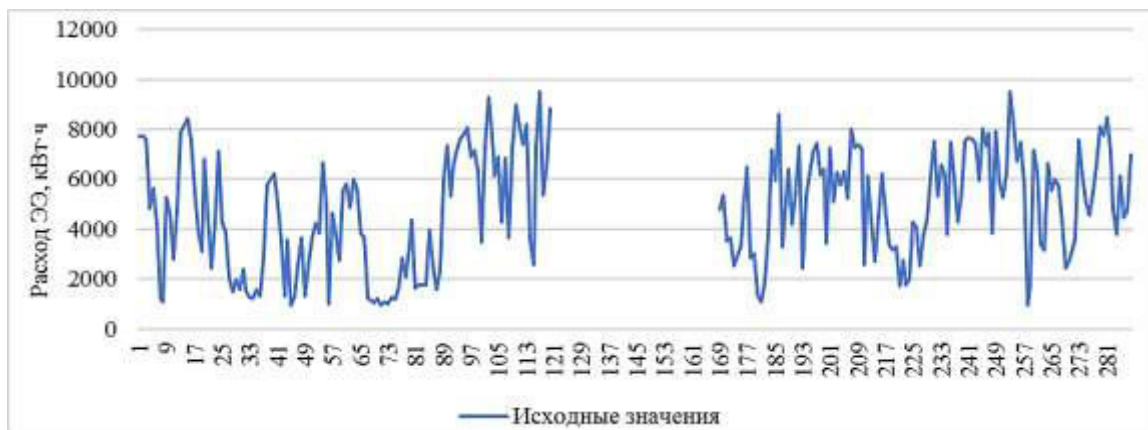


**Рис. 1.** Фрагмент временного ряда с искусственно введенными пропусками

Применение линейной интерполяции позволяют просто и быстро восстановить пропущенные значения [2]. Точки с координатами  $x_i$ ,  $y_i$  для  $i = 0, 1, 2, \dots, n$  соединяются прямыми линиями. Уравнение прямой, которая проходит через точки, служит уравнением интерполяции. Графически это выглядит как соединение прямой линией точки, находящейся перед отсутствующими данными с точкой, находящейся после отсутствующих данных (рис. 2).



**Рис. 2.** Применение линейной интерполяции

Следующий исследуемый метод – это прогнозирование с использованием одиночных моделей [3]. На первом этапе осуществляется прогноз на один шаг вперед, после чего, на основе полученных результатов, формируются новые значения, и расчет повторяется еще на шаг вперед (рис. 3).



**Рис. 3.** Применения метода прогнозирования при помощи одиночных моделей

Далее рассмотрен метод восстановления пропущенных значений во временных рядах с применением нейронных сетей (НС) [4]. В качестве расчетной модели была выбрана рекуррентная нейронная сеть (рис. 4) [5]. В этой НС результат вычислений на каждом этапе используется в качестве исходных данных для следующего.

Предлагается использовать нейронную сеть для двустороннего прогноза при восстановлении пропусков во ВР тягового электропотребления.



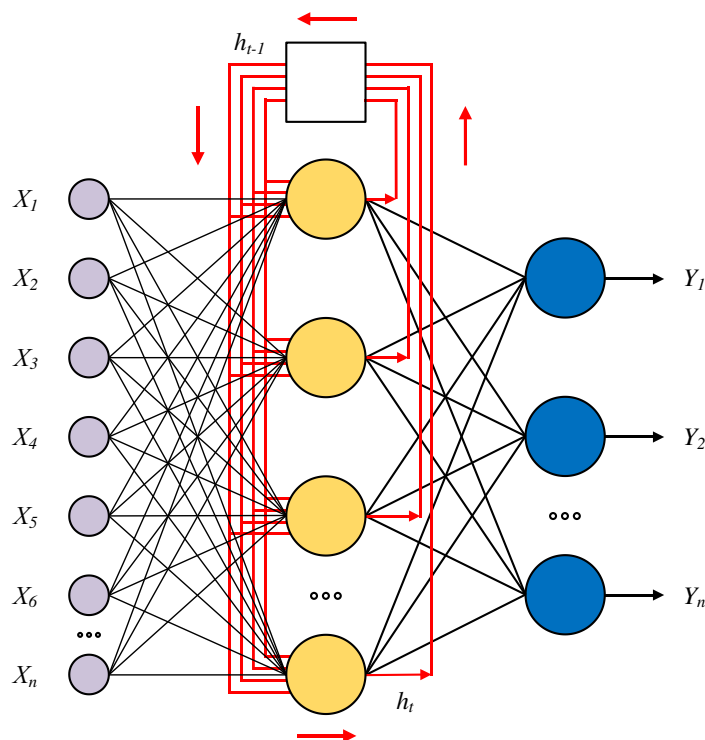


Рис. 4. Рекуррентная нейронная сеть

Первоначально применяется часть ВР, расположенная слева от пропуска. На данном участке модель формирует прогноз на количество элементов, равной длине пропуска. После этого осуществляется прогноз части ВР, расположенной справа от пропуска – известная часть данных инвертируется, модель создает прогноз, который также инвертируется. Результаты двух прогнозов для левой и правых частей суммируются (рис. 5).

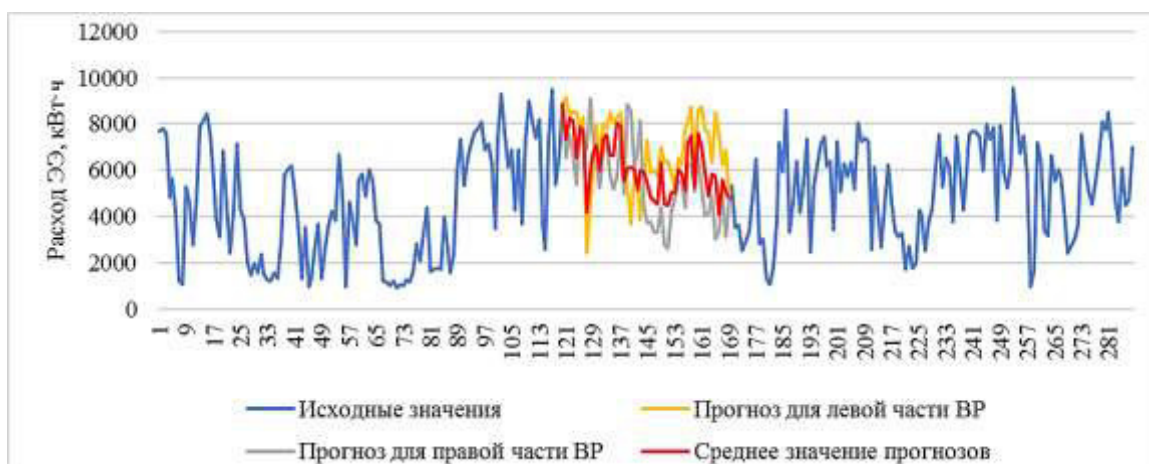


Рис. 5. Применение двустороннего прогноза

Оценка эффективности исследуемых методов проводилась определением величины среднеквадратичной ошибки. На рис. 6 представлено сравнение реальных значений временного ряда ЭП (значения искусственного пропуска) со значениями, полученными путем применения методов восстановления. В Таблице представлены данные о средних ошибках аппроксимации применяемых методов.

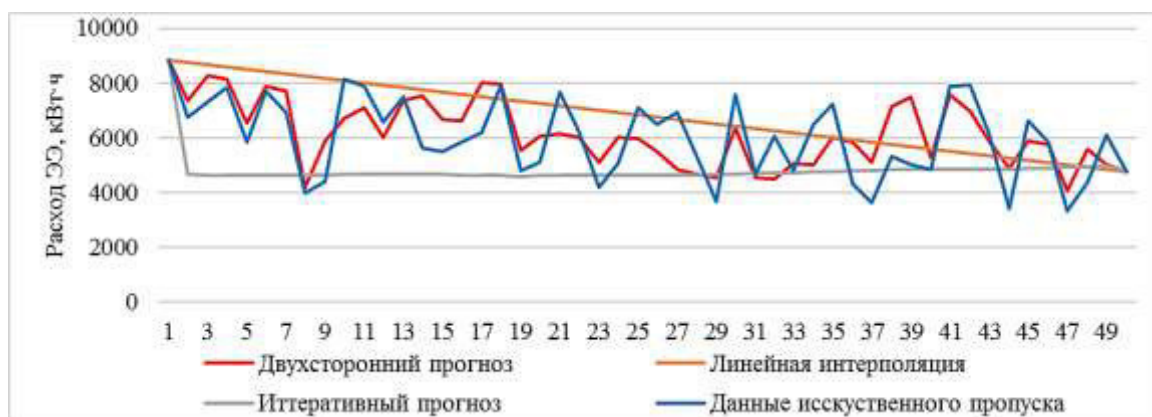


Рис. 6. Сравнительный анализ используемых методов

Таблица

### Средние ошибки аппроксимации

| Метод восстановления пропусков | Средняя ошибка аппроксимации |
|--------------------------------|------------------------------|
| Линейная интерполяция          | 30%                          |
| Итеративный прогноз            | 21%                          |
| Двухсторонний прогноз          | 13%                          |

Проведенный сравнительный анализ исследуемых методов позволяет заключить, что двусторонний прогноз является эффективным методом восстановления пропусков. Применение метода, основанного на линейной интерполяции, может показать приемлемые результаты при условии, когда значения переменных имеют небольшой разрыв, а разность между ними невелика. Метод итеративного прогноза при помощи однократных моделей также обладает низкой точностью, поскольку новые векторы задержек опираются на соседние векторы исходной модели.

После восстановления пропущенных значений возможно проводить анализ исходных данных, определять структуру данных, формулировать статистические выводы. Даже при высокой величине средней ошибки аппроксимации временной ряд с восстановленными значениями более пригоден для анализа и прогнозирования чем временной ряд, содержащий пропуски.

*Библиографический список*

1. Маркин, А. В. Метод автоматического восстановления значений в потоках данных на основе взвешенной модели / А. В. Маркин, М. В. Щербаков. – Текст : непосредственный // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3 (23). – С. 49–54.
2. Воробьёв, А. В. Методы резервирования в задачах восстановления временных рядов геомагнитных данных / А. В. Воробьёв, Г. Р. Воробьёва. – Текст : непосредственный // Информационные процессы. – 2018. – Том 18. – № 1. – С. 1–18.
3. Лоскутов, А. Ю. Проблемы нелинейной динамики. Локальные методы прогнозирования временных рядов / А. Ю. Лоскутов, О. Л. Котляров, И. А. Истомин, Д. И. Журавлёв. – Текст : непосредственный // Вестник МГУ, серия 3. Физика и Астрономия. – 2002. – № 6. – С. 3–21.
4. Староверов, Б. А. Схемы взаимодействия поставщиков и получателей прогнозов электропотребления на основе использования нейросетевой информационной системы / Б. А. Староверов, И. В. Семёнов // Инженерный вестник Дона, 2018. – № 1. – URL : [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4784](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4784). – Текст : электронный.
5. Indrajeet Y. Javeri, Mohammadhossein Toutiaee, Ismailcem B. Arpinar, and John A. Miller, Tom W. Miller Improving Neural Networks for Time-Series Forecasting using Data Augmentation and AutoML – University of Georgia, Athens, Georgia 2021. – P. 1–8. – Текст : непосредственный.

**К. В. Менакер, А. Ю. Данилова, Д. Д. Спирин**  
*Забайкальский институт железнодорожного транспорта,  
г. Чита, Россия*

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА БЕСКОНТАКТНОЙ  
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖИЛ НАГРУЖЕННОГО КАБЕЛЯ**

*При обслуживании устройств автоматики, телемеханики и связи зачастую встаёт необходимость идентификации жил кабеля, являющегося частью какой-либо схемы управления и контроля. Отключение жил кабеля от элементов схемы с целью традиционной прозвонки приводит к остановке соответствующего технологического процесса, и следовательно, к экономическим издержкам. Решение этой проблемы возможно за счёт создания надёжного устройства бесконтактной идентификации жил кабеля на основе индукционного или акустического метода.*

*Ключевые слова: идентификация, электрический кабель, жила кабеля, индукционный метод, акустический метод, гальваническая развязка, устройство идентификации.*

Идентификация жил нагруженного кабеля непростая задача. Во-первых, проводники находятся под напряжением, зачастую во много раз превышающим напряжение измерения. Во-вторых, жилы кабеля сообщаются между собой посредством различных электронных элементов и устройств, что способствует распространению измеряемого сигнала по проводникам. В виду указанных особенностей на практике для идентификации жил нагруженного кабеля используют индукционный и акустический метод [1, 2].

При использовании акустического метода на изоляцию с одного конца проводника подают акустические волны фиксированной частоты, которые принимают на противоположном конце провода (рис. 1).



**Рис. 1.** Акустический метод идентификации жил нагруженного кабеля

При возможном распространении волн на соседние проводники искомую жилу определяют по максимальному принятому сигналу. При видимой легкости реализации измерительного прибора на акустическом методе, у данного метода есть ряд ограничений. Акустические волны активно поглощаются в проводнике. Разные материалы изоляции поглощают звуковые волны с разной эффективностью от 0 до 100 %. Пористые изоляционные материалы и покрытия кабеля обладают более высоким коэффициентом поглощения, однородные менее высоким. Вследствие этого встает необходимость настройки измерительного прибора на разные марки кабеля. Кроме этого поглощение звуковых волн в материале в значительной степени зависит от их частоты. Чем выше частота звукового сигнала, тем больше циклов совершает волна в единицу времени, а значит тем больше коэффициент поглощения. В связи

с этим для идентификации жил кабеля используют низкие частоты, не превышающие 100 Гц. Явление отражения звуковой волны является еще один ограничивающим фактором. Изгибы кабеля приводят к отражению звуковой волны и потере ее энергии. С другой стороны явление отражения звуковой волны сказывается положительно при идентификации проводника. Звуковая волна подобно пучку света в оптоволокне многократно отражается между изоляцией и токопроводящей жилой, что позволяет ей преодолевать достаточно большие расстояния.

Кроме указанных недостатков акустического метода идентификации жил нагруженного кабеля, у него есть и одно существенное преимущество. Звуковая волна, распространяемая между изоляцией и токопроводящей жилой, ни каким образом не взаимодействует с электрическими сигналами, действующими в жилах кабеля. При этом не требуются дорогостоящие устройства фильтрации и устройства защиты от перенапряжения. На текущий момент реализовано несколько измерительных устройств для идентификации жил нагруженного кабеля, основанных на акустическом методе (рис. 2).



**Рис. 2.** Устройство идентификации проводов и жил кабелей с использованием акустического сигнала

Для сравнения рассмотрим индукционный способ идентификации жил нагруженного кабеля (рис. 3). Данный способ заключается в генерации и подачи электрического сигнала в проводник посредством индукции. На другом конце проводника поданный сигнал также снимается



индукционным способом, фильтруется и преобразуется в информационное сообщение. В качестве индуктора на передающей и приемной стороне используется трансформатор тока, одной из обмоток которого выступает идентифицируемый проводник. Трансформатор тока выполняется в виде клещей с возможностью охвата проводника магнитопроводом. Индукционный метод имеет одно явное преимущество перед акустическим при идентификации жил нагруженного кабеля.

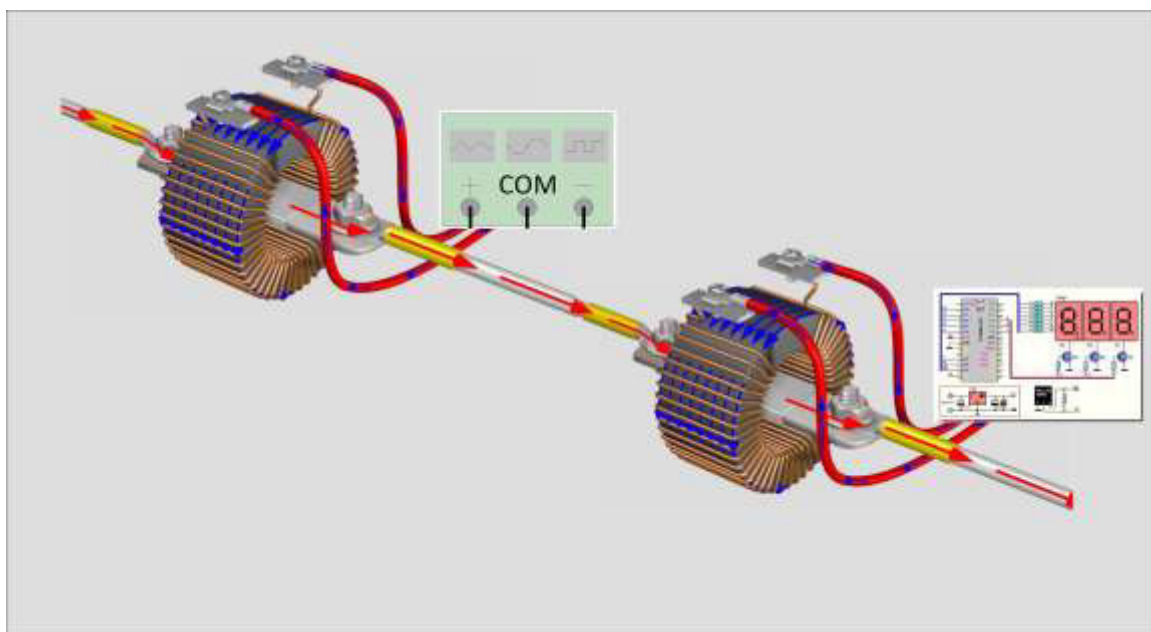


**Рис. 3.** Устройство идентификации проводов и жил кабелей на основе индукции

Данное преимущество заключается в возможности подачи в идентифицируемый проводник сигнал абсолютно любой формы, включая цифровой кодируемый сигнал. Это позволяет производить идентификацию одновременно нескольких жил кабеля. Среди недостатков можно выделить незначительное влияние на аппаратуру генератора и приемника измерительного устройства действующего в измеряемом проводнике тока нагрузки, а также связанную с этим необходимость фильтрации измеряемого сигнала на приемном конце.

Несмотря на указанные недостатки, автором в качестве основы для дальнейшей практической реализации измерительного прибора был выбран индукционный метод по причине возможности его многоканальной и цифровой реализации.

На первом этапе для проверки возможности практической реализации устройства была смоделирована работа его передающей стороны (рис. 4).

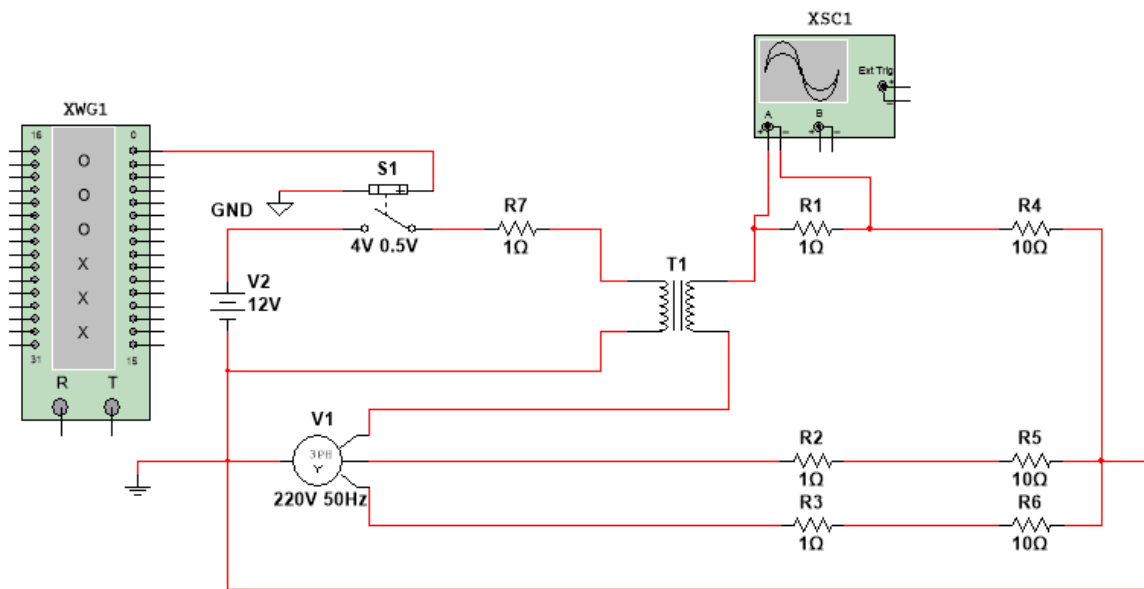


Рис. 4. Имитационная модель индукционного устройства идентификации жил нагруженного кабеля

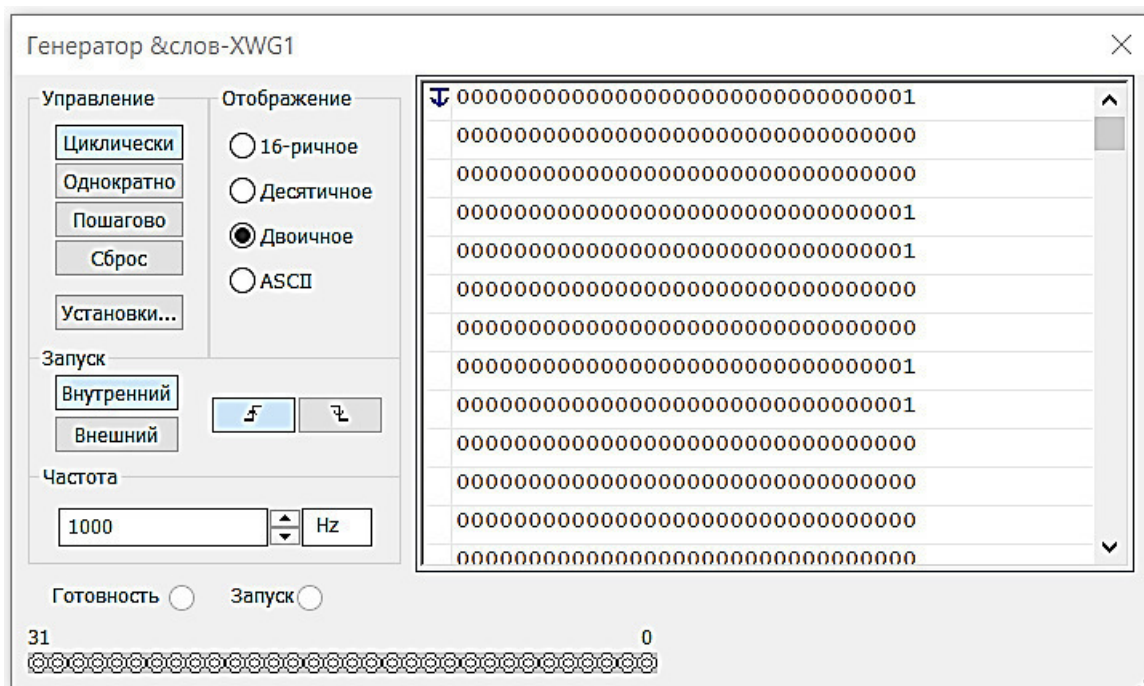


Рис. 5. Циклический алгоритм генератора цифровых сигналов

В качестве идентифицируемых объектов в имитационной модели представлены линейные проводники трехфазной цепи. Трехфазный источник напряжения V1 включен по схеме звезда. Резистивные элементы R4, R5, R6 являются нагрузочными. Линейный провод Л1 яв-

ляется вторичной обмоткой трансформатора тока T1. Первичная обмотка трансформатора T1 коммутируется электронным ключом S1, управляемым от генератора цифровых сигналов по циклическому алгоритму (рис. 5). Контрольное напряжение снимается осциллографом с шунтового сопротивления R1. Осциллограмма напряжения на шунтовом сопротивлении R1 представлена на рис. 6.

Анализ представленной осциллограммы показывает, что переданный цифровой сигнал с трансформатора тока T1 накладывается на рабочий синусоидальный сигнал в виде коротких токовых импульсов. Малая длительность принятых импульсов, получаемая за счет малого сопротивления вторичной обмотки трансформатора тока, является положительной стороной предлагаемого устройства, поскольку данные сигналы в меньшей степени подвержены искажениям.

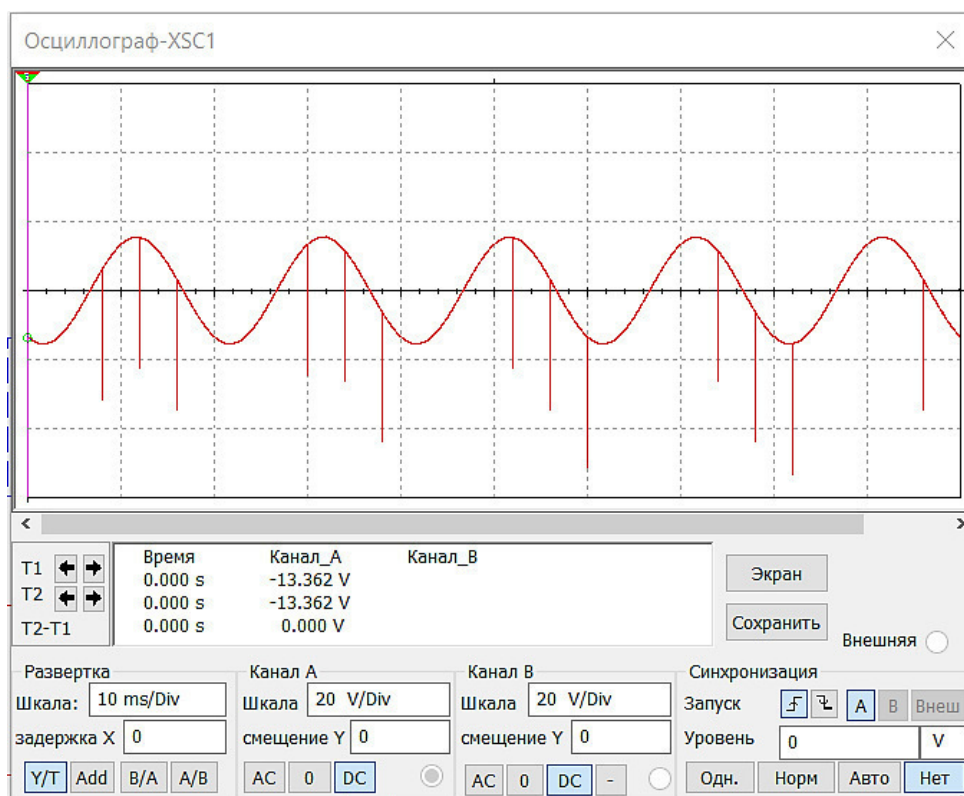


Рис. 6. Осциллограмма напряжения на шунтовом сопротивлении R1

Таким образом, возможность реализации измерительного устройства для идентификации жил нагруженного кабеля на основе индукционного метода доказана в ходе имитационного моделирования. Следующим этапом является проработка вопроса возможности фильтрации полученного измерительного сигнала. Создание опытного образца при-

бора станет возможным после детальной проработки аппаратного и программного уровней передающей и принимающей его частей.

*Библиографический список*

1. Букреев, А. В. Анализ факторов, влияющих на распространение звуковых волн в проводниках при идентификации проводников с помощью акустического сигнала / А. В. Букреев. – Текст : непосредственный // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 2 (23). – С. 73–81.

2. Якушов, Д. В. Передача цифрового сигнала через развязывающий трансформатор / Д. В. Якушов, И. А. Аверин. – Текст : непосредственный // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сборник научных статей Всероссийской межвузовской научно- практической конференции, Пенза, 14 марта 2018 года / под редакцией Л. Р. Фионовой. – Пенза : Пензенский государственный университет, 2018. – С. 293–295.

**А. В. Пультяков, В. А. Алексеенко, М. В. Кузин**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТРОЙСТВ СЦБ  
ПУТЁМ ВНЕДРЕНИЯ  
МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ МРМ-Ш И ЭТАЛОН-Ш**

*В статье рассматриваются вопросы совершенствования процесса технической эксплуатации устройств сигнализации, централизации и блокировки при использовании устройств оптимизации технологических процессов и операций обслуживания и ремонта (мобильных рабочих мест МРМ-Ш и универсальных измерительных модулей Эталон-Ш). Приведена структура взаимодействия МРМ-Ш и ЭТАЛОН-Ш с единой корпоративной автоматизированной системой управления инфраструктурой и подробно рассмотрен алгоритм выполнения примера рабочего задания. Приведён анализ затрат времени на проведение отдельных операций.*

*Ключевые слова: устройства СЦБ, техническая эксплуатация, мобильное рабочее место, универсальный измерительный модуль, рабочее задание.*

Снижение невынужденных потерь и улучшение процесса технической эксплуатации устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) с целью сокращения производственных затрат является первоочередной задачей для всего хозяйства автоматики и телемеханики [1, 2]. Это направление оптимизации процессов является достаточно актуальным, при этом для решения задач в этой сфере используются различные методы и подходы [3–10]. Одним из перспективных способов организации деятельности персонала дистанций СЦБ является организация мобильных рабочих мест (МРМ) на основе носимых устройств совместно с универсальными измерительными модулями Эталон-Ш. Это должно обеспечивать оптимизацию производственных и технологических процессов управления техническим содержанием напольных и постовых устройств СЦБ, при условии оснащения данными техническими средствами всего персонала и устранения выявленных недостатков.

Возможности, заложенные в программное обеспечение МРМ электромехаников СЦБ (МРМ-Ш) единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ), позволяют осуществлять создание рабочих заданий (РЗ), посуточное планирование работ, учёт выполнения запланированных работ, фотофиксацию объектов обслуживания, учёт прохождения инструктажей и отображение местонахождения персонала бригады, управление инцидентами, включая фотофиксацию выявленных неисправностей, уведомление о возникновении новых инцидентов, представление информации об инцидентах в виде списков или графиков и подтверждение фактического выполнения работ, а также автоматическое создание инцидентов по результатам измерений при выявлении отступлений от норм содержания устройств [3, 4, 11–15].

Дооснащение МРМ-Ш универсальным измерительным модулем Эталон-Ш позволяет проводить комплексные универсальные измерения электрических величин с интеграцией полученных результатов в базу данных ЕК АСУИ с точной привязкой к конкретным устройствам (напольным или постовым), а в дальнейшем – систематизировать результаты измерений и обеспечить оперативный доступ к ним на всех уровнях эксплуатации [15–18].

Большое количество трудозатрат занимает выполнение непроизводственных работ, контрольные мероприятия по проверке выполнения работ, оформление различных записей в специализированных журналах. После выполнения рабочего задания вручную заполняются журналы: «Журнал технической проверки устройств СЦБ на станции» (ШУ-64), «Журнал технической проверки автоматики на перегонном пути» (ШУ-68), «Журнал учета повреждений автоматики и телемеханики» (ШУ-78),



«Журнал технической проверки сигнальной установки» (ШУ-79), «Журнал о выполненной работе» (ШУ-2), а потом вносят эти же данные в систему ЕК АСУИ с помощью персонального компьютера.

Если организовать для эксплуатационного персонала доступ к информационным системам без привязки к стационарным автоматизированным рабочим местам, то это приведет к сокращению непроизводительных временных затрат. Внедрение мобильного рабочего места МРМ-Ш и расширение его функционала только по автоматическому формированию записей в журналах ДУ-46 и ШУ-2 позволяет снизить трудоемкость запланированных работ, не учитывая отказы, минимум на 20 %. Второстепенной и не менее важной задачей при этом становится организация доступа к беспроводной сети связи на удаленных станциях и перегонах, расположенных далеко от городов и в гористой местности.

На рис. 1 представлена структурная схема организации информационного взаимодействия ЭТАЛОН-Ш через МРМ-Ш с ЕК АСУИ и автоматизированной системой управления хозяйством автоматики и телемеханики (АСУ-Ш-2).



**Рис. 1.** Структура информационного взаимодействия ЭТАЛОН-Ш через МРМ-Ш с ЕК АСУИ и АСУ-Ш-2

Рассмотрим более подробно поэтапный алгоритм выполнения работы при использовании персоналом МРМ-Ш. Данный алгоритм рассматривается на примере одной из самых трудозатратных работ. Любая работа всегда начинается с активации суточного плана в системе ЕК АСУИ (рис. 2). Делает это старший электромеханик (ШНС) в вечернее время или перед началом рабочего дня, чтобы план уже был активирован. Труд-

доемкость активации суточного плана составляет максимально 0,08 чел-час.

Идентификация пользователей при включении МРМ-Ш осуществляется введением логина и пароля. Затем необходимо произвести сопряжение с ЕК АСУИ по Bluetooth. Всё это выполняется разово, при получении МРМ-Ш. Трудоемкость всех этих действий составляет 0,44 чел-час. Схема авторизации в МРМ-Ш и сопряжения с ЕК АСУИ представлена на рис. 2.

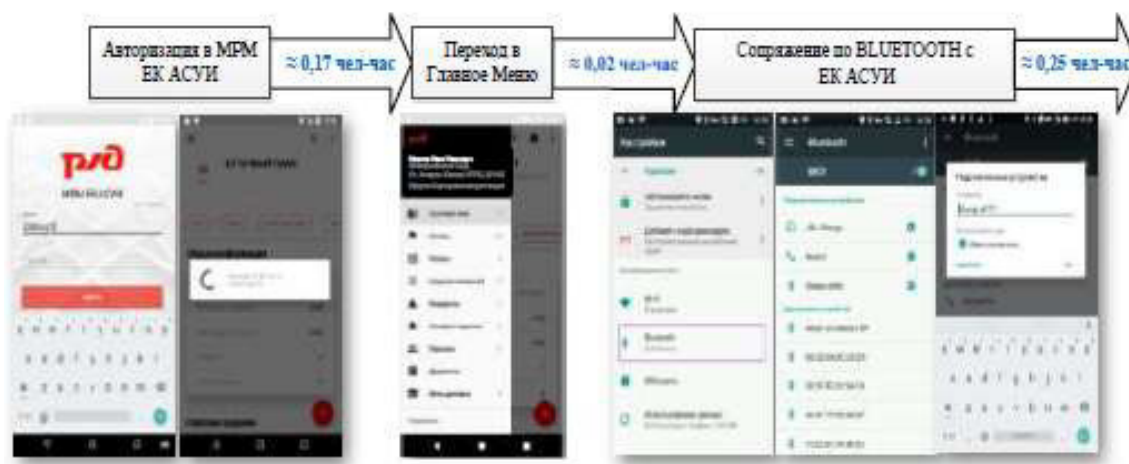


**Рис. 2.** Авторизация в МРМ-Ш ЕК АСУИ и сопряжение с ЕК АСУИ

В начале рабочего дня до прохождения целевого инструктажа каждому электромеханику необходимо синхронизировать суточный план. Трудоемкость данной процедуры составляет 0,66 чел-час, а пример синхронизации суточного плана представлен на рис. 3.

Далее работники необходимо пройти ежедневные предсменные инструктажи (в виде теста длительностью 15 минут) и непосредственно из МРМ-Ш ЕК АСУИ получить допуск к производству работ. При успешном выполнении тестовых занятий работники получают разрешение на начало заявленных регламентных работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту устройств СЦБ в соответствии с технико-нормировочными картами (ТНК), предусмотренных РЗ. Если тестирование пройдено не удачно (результат менее 100 %), то работнику необходимо изучить теоретический материал, при этом допуск к выполнению работ осуществляется в соответствии с Порядком организации и проведения ежедневных предсменных тестовых 15-минутных инструктажей в хозяйстве автоматики и телемеханики, утверждённый от 03 февраля 2021 г. № ЦДИ-143.

Прохождение инструктажа в МРМ-Ш представлено на рис. 4.

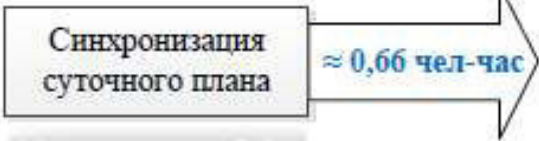


**Рис. 3.** Синхронизация суточного плана

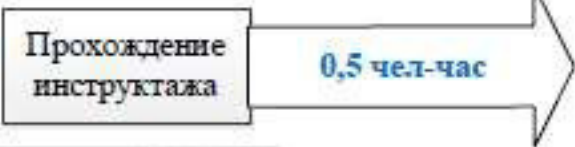


**Рис. 4.** Прохождение инструктажа

текста в строке поиска формируется список из найденных в плане РЗ, содержащих искомый текст в наименовании или номере.

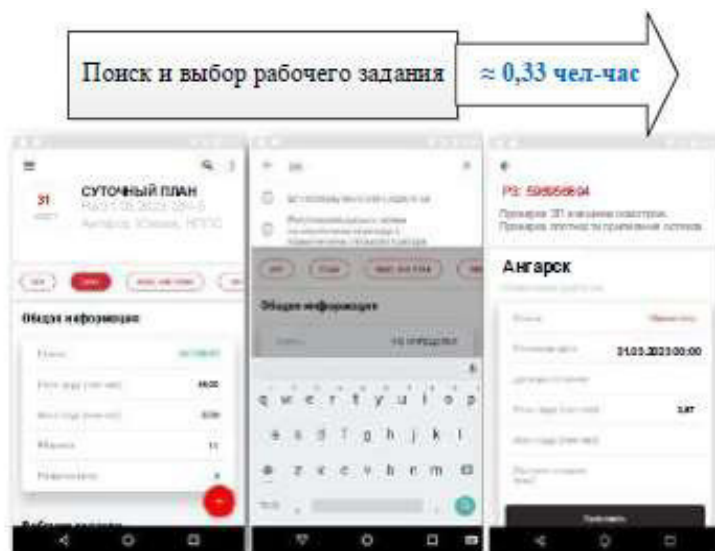


Рис. 5. Поиск и выбор РЗ

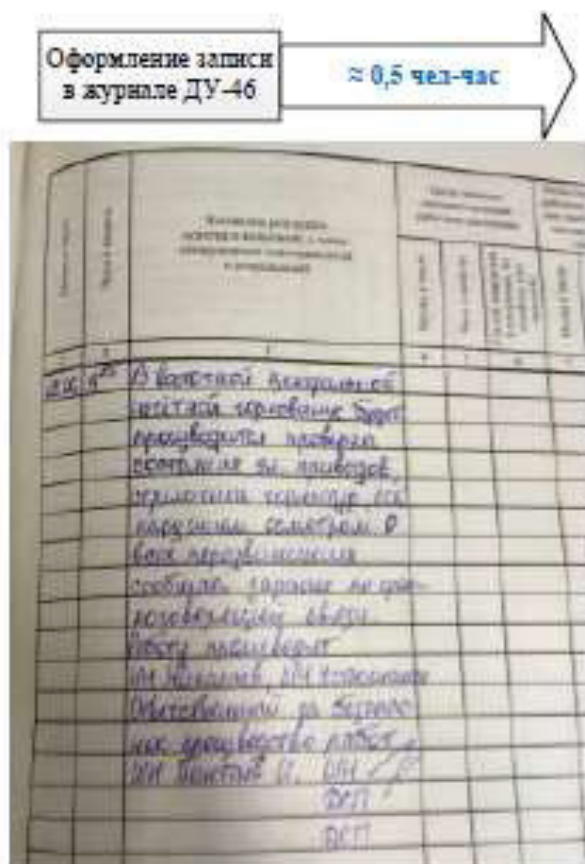


Рис. 6. Оформление записи в ДУ-46

При выборе из списка найденного РЗ открывается карточка сформированного РЗ, изображенная на рис. 5.

После того, как работнику известно, какую работу он будет выполнять, необходимо сделать запись в журнале ДУ-46, изображенном на рис. 6, о том, где и какая работа будет выполняться. Трудоемкость составляет 0,5 чел-час.

Выполнение РЗ осуществляется согласно ТНК ЦШ 0124-2015. Трудоемкость данной работы «Проверка состояния электроприводов, стрелочных гарнитур, внешних замыкателей, фиксаторов положения подвижного сердечника крестовины, КСБ. Проверка плотности прилегания остряка к рамному рельсу и подвижного сердечника крестовины к усовику на стрелках, перевод которых исключен» из расчёта на 4 стрелки составляет 15,48 чел-час. Отображение информации в МРМ-Ш во время выполнения РЗ представлено на рис. 7.

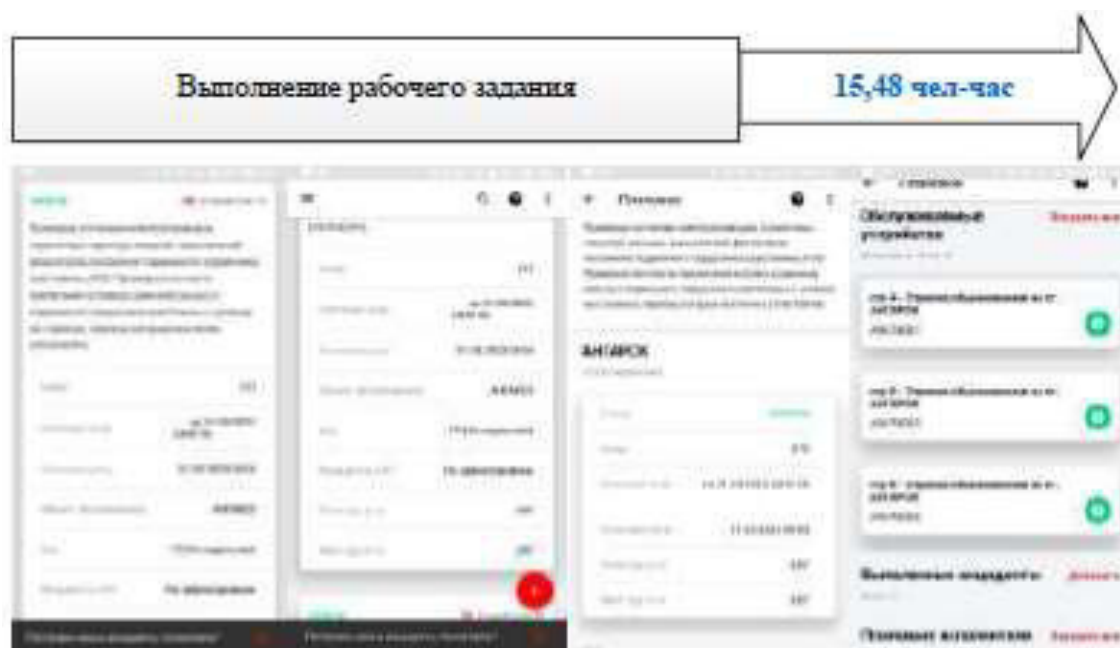


Рис. 7. Выполнение РЗ

После окончания выполнения рабочего задания работник должен сделать записи в журнале ШУ-2 о проделанной работе с указанием выявленных недостатков и в журнале ДУ-46 о снятии оповещения, представленных на рис. 8. Трудоемкость составляет около 1 чел-час.

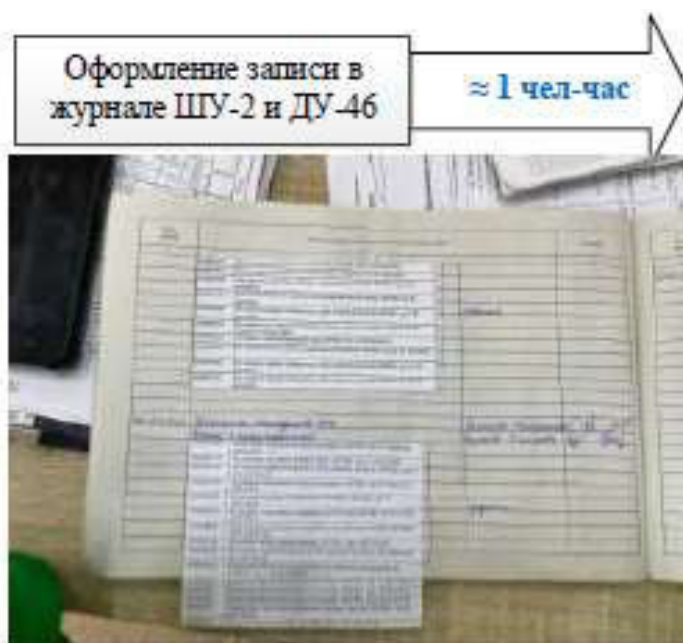


Рис. 8. Оформление записи в ДУ-46 и ШУ-2



Завершение РЗ через МРМ-Ш, представленное на рис. 9, осуществляется всеми работниками бригады. После выполнения всех запланированных работ ШНС закрывает план через ЕК АСУИ на персональном компьютере. Трудоемкость данного действия составляет 0,33 чел-час.



**Рис. 9.** Завершение РЗ через МРМ-Ш

Таким образом, трудоемкость выполнения выбранного для примера РЗ «Проверка состояния электроприводов, стрелочных гарнитур, внешних замыкателей, фиксаторов положения подвижного сердечника крестовины, КСБ. Проверка плотности прилегания остряка к рамному рельсу и подвижного сердечника крестовины к усовику на стрелках, перевод которых исключен» с применением МРМ-Ш составляет 18,8 чел-час.

Для того, чтобы снизить трудозатраты на выполнение РЗ, нужно сделать автоматическое заполнение в журналах ДУ-46 и ШУ-2 с помощью МРМ-Ш. Для этого необходимо внедрить МРМ во всех смежных хозяйствах (энергоснабжения, движения и пути). Если записи в этих журналах будут сформированы автоматически, то трудоемкость выполнения указанной работы составит 17,3 чел-час. Снижение трудоемкости выполнения РЗ составит 1,5 чел.-часа, то есть снижение произойдет на 8 %.

Так как для примера была выбрана одна из самых трудоемких работ, то есть время выполнения непосредственно самой работы на объекте значительно превышает подготовительно-заключительные работы, то полученный эффект от автоматизации записей равный 8 % – это мини-

мальное снижение трудозатрат. Если рассматривать остальные менее трудоемкие работы, в которых время затрачиваемое на непосредственное выполнение работы приближается ко времени подготовительно-заключительных процедур, то процент снижения трудозатрат и соответственно эффект будет больше.

*Библиографический список*

1. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, Л. И. Борисенко, А. А. Прокофьев, А. И. Каменев ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – Москва : Маршрут, 2003. – 336 с. – Текст : непосредственный.

2. 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.

3. Шуваев, В. А. Автоматизация формирования планов работ в ЕК АСУИ / В. А. Шуваев. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 8. – С. 25–27. – EDN WGBHET.

4. 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. – EDN XPTPZZ.

5. Шаманов, В. И. Совершенствование системы технического обслуживания устройств автоматики / В. И. Шаманов, А. В. Пультяков. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 12. – С. 13–16. – EDN KAUVDZ.

6. Повышение качества эксплуатации микропроцессорных устройств / М. В. Белькевич, А. В. Пультяков, Р. В. Лихота, В. А. Алексеев. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2016. – № 1. – С. 24–27. – EDN VGSDSX.

7. Пультяков, А. В. Пути повышения эффективности технической эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики при внедрении мобильных рабочих мест / А. В. Пультяков, В. А. Аношин. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2024. – № 1 (81). – С. 138–149. – DOI 10.26731/1813-9108.2024.1(81).138–149. – EDN BZABUG.

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. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.4(76).192–205. – EDN VBUWGB.

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. – DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-2-178-187. – EDN KPHSEN.

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. – DOI 10.20291/1815-9400-2020-1-43-47. – EDN MCMSDC.

11. Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой (ЕК АСУИ). Типовая система управления текущим содержанием объектов эксплуатационной инфраструктуры (ТС-2). Хозяйство автоматики и телемеханики. Ролевая инструкция старшего электромеханика СЦБ (ШНС) 01095505.10998.252.И2. – Москва : ООО «ОЦРВ». – 2010. – 92 с. – Текст : непосредственный.

12. Пультяков, А. В. Особенности технической эксплуатации устройств автоматики и телемеханики с применением МРМ-Ш / А. В. Пультяков, А. Г. Гаврилова, А. А. Семчук. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 3 (17). – С. 150–158. – EDN TNXEPX.

13. Кленов, А. В. Новые возможности с МРМ / А. В. Кленов. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 2. – С. 41–42. – EDN BLVCIX.

14. Солдатенков, Е. Г. Опыт эксплуатации МРМ-Ш / Е. Г. Солдатенков. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 2. – С. 39–40. – EDN ZUXNOY.

15. Толокнов, А. В. Развитие функциональности МРМ-Ш / А. В. Толокнов. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 5. – С. 16–17. – EDN XNTXEX.

16. Сиделев, Д. В. Автоматизация измерения электрических параметров устройств ЖАТ / Д. В. Сиделев, К. Ф. Малявин, Д. В. Седых. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 10. – С. 32–34. – DOI 10.34649/AT.2021.10.10. 001. – EDN NHPPHS.

17. Седых, Д. В. Декодирование сигналов в тональных рельсовых цепях при измерениях прибором ЭТАЛОН-Ш / Д. В. Седых, В. П. Буб-

нов. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 2. – С. 20–23. – EDN NZQRHR.

18. Аношин, В. А. Проблемы проведения электрических измерений с помощью мобильного устройства Эталон-Ш / В. А. Аношин, А. В. Пультяков. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2024. – № 2 (24). – С. 192–199. – EDN ORYEQJ.

**К. Д. Рубцов**  
ФИЦ КНЦ СО РАН,  
г. Красноярск, Россия

**Л. И. Жуйко**  
Красноярский институт железнодорожного транспорта,  
г. Красноярск, Россия

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ЭЛЕКТРОВОЗЕ**

*В статье авторами проводится исследование и разработка регулируемого компенсатора реактивной мощности для повышения энергетических показателей электровозов переменного тока с коллекторными тяговыми двигателями.*

*Ключевые слова:* реактивная мощность, компенсация, электровоз, напряжение, контактная сеть.

Одной из ключевых задач ОАО «РЖД» является оптимизация энергетических характеристик электровозов и достижение высоких значений коэффициента мощности в различных режимах эксплуатации и диапазонах напряжения контактной сети (КС). В условиях затяжного подъема, когда требуется значительное тяговое усилие для преодоления сопротивления движению, возникает сложность в повышении энергетических показателей и обеспечении стабильного коэффициента мощности. Это обусловлено тем, что при движении электровоза под уклоном наблюдается снижение напряжения в КС, что может негативно сказаться на эффективности работы электровоза и привести к увеличению потребления электрической энергии.

Согласно существующей классификации, выделяют три основных режима функционирования поезда [1]:

А) Режим тяги: в данном режиме электровоз преобразует электрическую энергию в механическую, передавая её на колёса через тяговые двигатели (ТД) для обеспечения движения состава;

Б) Торможение: в этом режиме электровоз применяет различные методы торможения – электрическое, механическое или аэродинамическое – в зависимости от его конструктивных особенностей, с целью снижения скорости или полной остановки поезда;

В) Выбег: в данном режиме электровоз находится в состоянии бездействия (например, на станции или в промежутке между остановками), при этом он не осуществляет тягового усилия и движется за счёт накопленной кинетической энергии (по инерции).

Для решения указанной проблемы необходимо разработать и внедрить новые технологии и технические решения, направленные на повышение энергетической эффективности электровозов и увеличение коэффициента мощности в условиях снижения напряжения контактной сети. В качестве объекта дальнейшего исследования параметров компенсации реактивной мощности будет выбран электровоз переменного тока 2ЭС5К «Ермак», который широко используется на железнодорожной сети. Этот электровоз оборудован современными полупроводниковыми преобразователями, что позволяет эффективно управлять реактивной мощностью и минимизировать её негативное воздействие на функционирование электрической сети. Данная задача особенно актуальна при передаче электрической энергии на большие расстояния, где потери реактивной мощности могут достигать значительных величин. Кроме того, электровоз 2ЭС5К «Ермак» отличается высокой надёжностью, безопасностью и экологичностью, а также обладает отличными тяговыми характеристиками, что позволяет ему успешно справляться с различными грузами и условиями эксплуатации.

В ходе исследования, проведенного авторами статьи, были установлены основные параметры, касающиеся компенсации реактивной мощности (РМ):

А) Коэффициент мощности, который представляет собой отношение активной мощности к полной мощности;

Б) Реактивная мощность (Q), отражающая потребление или генерацию реактивной энергии;

В) Активная мощность (P), определяемая как мощность, преобразуемая в полезную работу или тепло;

Г) Полная мощность (S), являющаяся суммой активной и реактивной мощностей;

Д) Угол сдвига фаз ( $\varphi$ ), характеризующий разницу между фазами тока и напряжения.



Для более глубокого анализа также необходимо учесть дополнительные параметры, оказывающие влияние на реактивную мощность:

А) Гармоники – высшие гармонические компоненты тока и напряжения, которые влияют на качество электрической энергии;

Б) Коэффициент мощности гармоник, представляющий собой отношение реактивной мощности высших гармоник к активной мощности основной частоты;

В) Коэффициент искажения формы кривой напряжения ( $K_u$ ), определяемый как отношение среднеквадратичного значения высших гармоник к значению основной частоты;

Г) Коэффициент искажения формы кривой тока ( $K_I$ ), который рассчитывается как отношение среднеквадратичного значения высших гармоник к основной частоте.

На рис. 1 изображено расположение оборудования на электровозе 2ЭС5К [3].

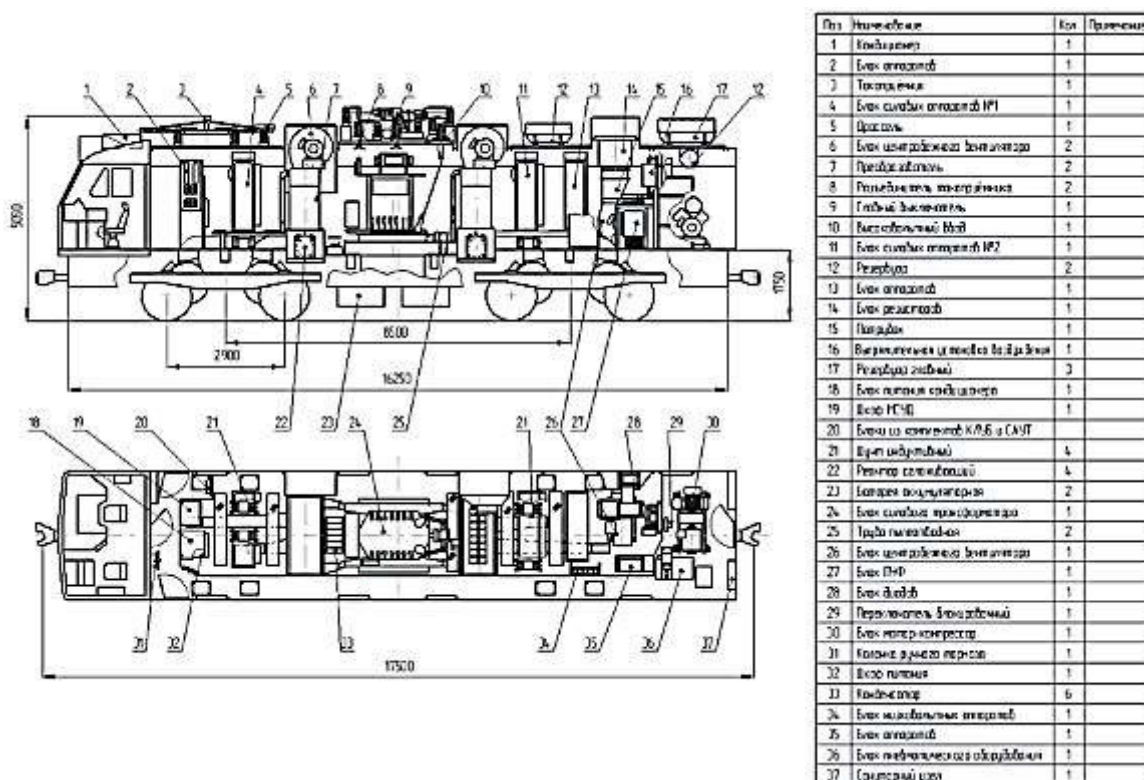


Рис. 1. Расположение оборудования на электровозе 2ЭС5К

В табл. 1 указаны технические характеристики электровоза 2ЭС5К «Ермак» [2].

Таблица 1

**Технические характеристики электровоза 2ЭС5К «Ермак»**

| Характеристика                           | Значение                            |
|------------------------------------------|-------------------------------------|
| Высота, мм                               | 5050                                |
| Длина, мм                                | 2×19 302 (38 604)                   |
| Ширина, мм                               | 3200                                |
| Колея, мм                                | 1520                                |
| Конструкционная скорость, км/ч           | 110                                 |
| Минимальный радиус прохождения кривых, м | 80                                  |
| Мощность ТЭД (часовая), кВт              | 2×4×820 (6560)                      |
| Мощность ТЭД (длительная), кВт           | 2×4×765 (6120)                      |
| Тип ТЭД                                  | Коллекторные, НБ-514Б               |
| Осевая формула                           | 2×(2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> ) |
| Род тока                                 | переменный (25 кВ)                  |
| Служебная масса                          | 2×96 т (192 т)                      |
| Тип                                      | грузовой                            |

В ходе проведения исследования авторами статьи будет предложена интеграция компенсаторов реактивной мощности в существующую схему электровоза. На данном этапе производство регуляторов не стоит на месте, и многие занимаются созданием регуляторов реактивной мощности. Одна из таких компаний – это «Twelve», занимающаяся разработкой и внедрением регуляторов реактивной мощности MRM-12 (который является современным устройством для автоматической компенсации реактивной мощности). Данный тип регулятора применяется для управления конденсаторной установки там, где возникает необходимость получения заданного коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ). Процесс управления позволяет минимизировать количество соединений, благодаря чему, пользователь будет иметь возможность оптимально использовать конденсаторные батареи и автоматизировать процесс компенсации реактивной мощности [4].

В табл. 2 указаны технические параметры регулятора реактивной мощности MRM-12.

Таблица 2

**Технические параметры регулятора реактивной мощности MRM-12**

| Параметр                             | Значение                |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Цепи напряжения                      |                         |
| Номинальное, межфазное напряжение, В | 100, 230, 400, 500, 660 |
| Допуск напряжения, %                 | -10 ÷ +15               |
| Потребляемая мощность, ВА            | 15                      |

Окончание табл. 2

| Параметр                  | Значение                                                                             |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Цепи тока                 |                                                                                      |
| Номинальный ток, А        | 5                                                                                    |
| Макс. измеряемый ток, А   | 6                                                                                    |
| Мин. измеряемый ток, мА   | 40                                                                                   |
| Выходные цепи             |                                                                                      |
| Количество ступеней       | 4 <sup>0</sup> , 6 <sup>0</sup> , 9 <sup>0</sup> , 12 <sup>0</sup> , 15 <sup>0</sup> |
| Действующее напряжение, В | 230                                                                                  |
| Нагрузка выхода           | 5 А (во время подключения контактора);<br>550 мА (постоянная работа) для 250 В       |
| Диапазон регулирования    |                                                                                      |
| $\cos \varphi$            | 0,3 инд. ÷ 0,7 емк.                                                                  |
| Время вкл. и выкл.        | 1 ÷ 99 сек. (шаг 1 сек.)                                                             |
| Класс точности            | 1,5                                                                                  |

Регулятор реактивной мощности типа MRM-12 является профессиональным оборудованием, спроектированным по усовершенствованной цифровой технологии. Использование микропроцессора, в качестве управляющего прибора, а также других систем оборудования высокой точности, увеличило надёжность, чувствительность и точность работы. Вся конструкция предусмотрена на 15 управляемых выходов.

Использование регулятора в версиях с 6, 12, 15-ти управляющими входами даёт возможность скомпенсировать реактивную мощность в более широком диапазоне – с большими скачками и большой точностью. Кратковременное воздействие (от 1 сек.) предполагает использование регулятора в условиях быстрых и больших изменениях нагрузки. На рис. 2 показана схема подключения регулятора MRM-12.

Для дальнейшего анализа авторами статьи проведён сравнительный анализ, в котором будет моделироваться 3 случая (табл. 3):

- А) электровоз без применения компенсаторов РМ;
- Б) с применением нерегулируемых компенсаторов РМ;
- В) с применением регулируемых компенсаторов РМ.

Для сравнения выбран участок железной дороги Кемчуг – Кача Красноярской дистанции электроснабжения (ЭЧ-3), который характеризуется сложным горным профилем с затяжным подъёмом на перегоне Кемчуг – Водораздел, протяжённость которого составляет 33,45 км по чётному пути, и является наиболее трудным на всей Красноярской дистанции для проследования поездов увеличенной массы. На рис. 3 изображён профиль пути участка Кемчуг – Кача из программного комплекса «КОРТЭС».

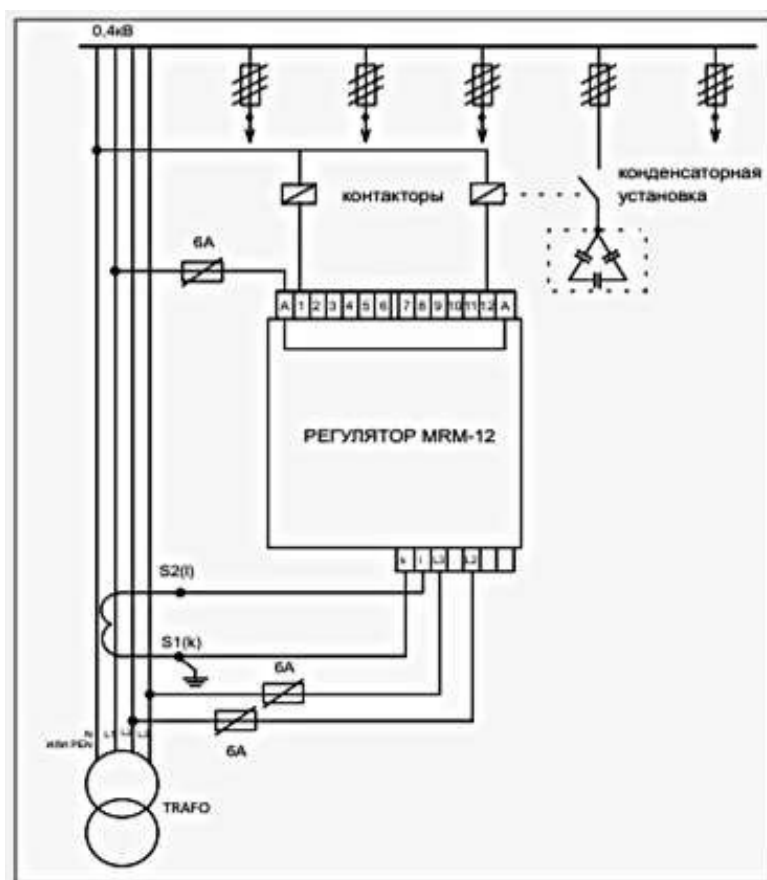


**Рис. 2.** Схема подключения регулятора MRM-12

Таблица 3

## Сравнительный анализ применения компенсаторов реактивной мощности на электровозе 2ЭС5К

| Параметр                      | Путь | Без компенсаторов |                   | Нерегулируемые компенсаторы |                   | Регулируемые компенсаторы |                   |
|-------------------------------|------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
|                               |      | U <sub>min</sub>  | U <sub>3мин</sub> | U <sub>min</sub>            | U <sub>3мин</sub> | U <sub>min</sub>          | U <sub>3мин</sub> |
| Напряжение (U), кВ            |      |                   |                   |                             |                   |                           |                   |
|                               | 1-й  | 20,72             | 20,86             | 21,61                       | 21,76             | 21,85                     | 22,00             |
|                               | 2-й  | 20,45             | 20,55             | 21,51                       | 21,60             | 21,79                     | 21,88             |
| Ток (I), А                    | 1-й  | 293               |                   | 251                         |                   | 232                       |                   |
|                               | 2-й  | 289               |                   | 248                         |                   | 230                       |                   |
| Коэффициент мощности (cos φ)  | 1-й  | 0,64              |                   | 0,77                        |                   | 0,71                      |                   |
|                               | 2-й  | 0,60              |                   | 0,73                        |                   | 0,77                      |                   |
| Активная мощность (P), кВт    | 1-й  | 219 296           |                   | 229 811                     |                   | 232 765                   |                   |
|                               | 2-й  | 275 603           |                   | 281 364                     |                   | 283 085                   |                   |
| Реактивная мощность (Q), кВАр | 1-й  | 263 164           |                   | 189 859                     |                   | 169 959                   |                   |
|                               | 2-й  | 366 141           |                   | 260 725                     |                   | 232 321                   |                   |
| Полная мощность (S), кВА      | 1-й  | 342 558           |                   | 298 093                     |                   | 288 211                   |                   |
|                               | 2-й  | 458 275           |                   | 383 593                     |                   | 366 211                   |                   |

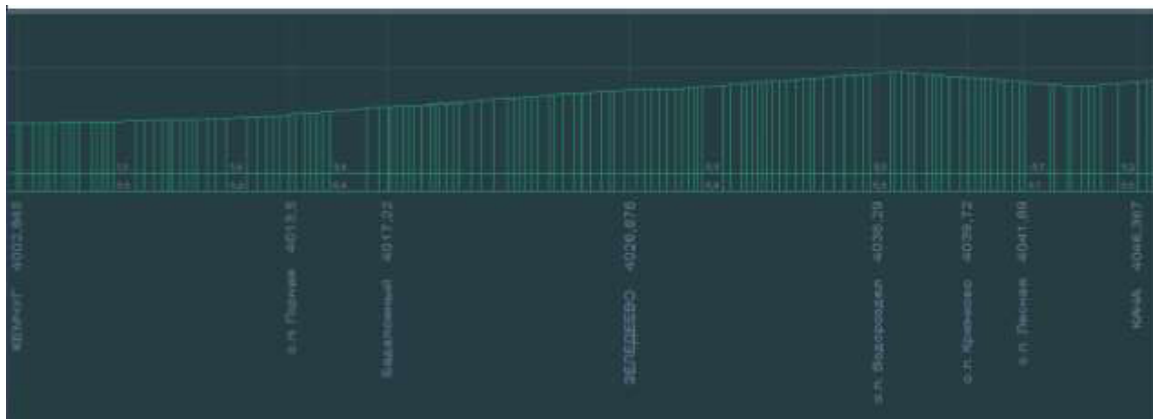


Рис. 3. Профиль пути участка Кемчуг – Кача

Оптимальным решением для подключения компенсаторов реактивной мощности (РМ) является их установка на вторичной обмотке трансформатора. Для сбора необходимых данных целесообразно дополнительно внедрить трансформаторы тока (ТТ) и трансформаторы напряжения (ТН).

Анализируя данные, представленные в табл. 3, можно выделить несколько ключевых выводов:

А) Применение компенсаторов РМ, как регулируемого, так и нерегулируемого типа, значительно улучшает основные эксплуатационные характеристики электровоза.

Б) Компенсаторы РМ способствуют поддержанию более высокого и стабильного напряжения на контактной сети (КС), а также ведут к снижению тока и реактивной мощности, что в свою очередь повышает коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ).

В) Эффективность использования электроэнергии возрастает, что позволяет уменьшить потери и улучшить эксплуатационные параметры системы.

Г) Внедрение компенсаторов РМ может привести к экономии электроэнергии, снижению нагрузки на оборудование и улучшению качества электрической энергии в системе.

Д) Регулируемые компенсаторы демонстрируют более высокие результаты по сравнению с нерегулируемыми, особенно в аспектах повышения коэффициента мощности и снижения реактивной мощности.

Таким образом, обоснование параметров компенсации реактивной мощности на электровозах связано с улучшением энергетических показателей системы тягового электроснабжения (СТЭ) переменного тока. Это достигается благодаря установке устройств компенсации реактивной мощности на тяговых подстанциях. Однако предлагается также рас-



смотреть возможность применения таких устройств непосредственно на электровозах, что позволит интегрировать их в кабину управления. Внедрение данных устройств компенсирует реактивную мощность, что способствует повышению коэффициента мощности и снижению дополнительной нагрузки на тяговую сеть и электрическое оборудование.

Следовательно, для достижения высоких значений коэффициента мощности во всем диапазоне изменений напряжения контактной сети целесообразно использовать регулируемые устройства компенсации реактивной мощности.

#### *Библиографический список*

1. Режимы движения поезда // Studizba.com. – URL : <https://studizba.com/lectures/transport/podvizhnoj-sostav-zheleznodorozhnogo-transporta/25758-rezhimy-dvizhenija-poezda.html> (дата обращения: 31.10.2024). – Текст : электронный.
2. Электровоз 2ЭС5К «Ермак» // railtrain.pro. – URL : <https://railtrain.pro/2yes5k> (дата обращения: 31.10.2024). – Текст : электронный.
3. 2ЭС5К, 3ЭС5К, «Ермак» // railtrain.pro. – URL : <https://studfile.net/preview/6002093/page:6/> (дата обращения: 31.10.2024). – Текст : электронный.
4. РЕГУЛЯТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ MRM-12 // Twelve. – URL : [https://www.elec.ru/catalog/twelvee/KK\\_MRM\\_RUS\(INT\).indd.pdf?ysclid=m2x1jqrwmr210436650](https://www.elec.ru/catalog/twelvee/KK_MRM_RUS(INT).indd.pdf?ysclid=m2x1jqrwmr210436650) (дата обращения: 31.10.2024). – Текст : электронный.
5. Герман, Л. А. Регулируемые установки ёмкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог : учебное пособие / Л. А. Герман, А. С. Серебряков. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2015. – 316 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-89035-799-1. – Текст : непосредственный.
6. СТО РЖД 07.022.1-2015. Методика расчёта показателей для выбора типа и мощности средств компенсации реактивной мощности. – Москва : ОмГУПС. – 79 с. – Текст : непосредственный.
7. Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии / Ю. С. Железко. – Москва : НЦ ЭНАС, 2016. – 456 с. – Текст : непосредственный.

*Н. Л. Рябченко, Л. А. Астраханцев, В. А. Тихомиров*  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,*  
*г. Иркутск, Россия*

### **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ-ЭЛЕКТРИКОВ**

*В статье рассмотрены методы сокращения затрат на первичные энергоносители источников энергии, передачу, распределение и выполнение работы с помощью электроэнергии за счёт снижения потерь активной мощности в элементах электроэнергетической системы. Разработанной теорией электромагнитных и энергетических процессов в контурах системы обоснована целесообразность полного использования напряжения для реализации энергосберегающих электрифицированных технологий. Предложенная математическая модель совершенствования образовательного процесса формирования инженеров-электриков основана на уточнённом законе сохранения энергии в электромагнитном поле, втором законе Кирхгофа и спектральном анализе. Особое внимание уделено модернизации содержания программы подготовки инженеров и применению полупроводниковых регуляторов мощности, с помощью которых повышается напряжение в контурах системы вместо регуляторов напряжения, которые разрабатываются, изготавливаются и эксплуатируются в России и за рубежом.*

*На основе выполненного исследования получены результаты повышения производительности и эффективности транспортной работы за счёт увеличения массы поезда в 2 раза, средней скорости движения на 14 %, повышения КПД электрической тяги поезда на 3,8 %, коэффициента мощности на 7,8 % и снижения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в контактной сети на 7,3 %.*

*Ключевые слова: напряжение, ток, регулятор мощности, интегральный аргумент, характер электрического сопротивления, необратимое преобразование энергии.*

Населению планеты необходимо решать задачи энергосбережения для стабильного социально-экономического развития общества, не разрушающее природную основу его существования. В устойчивом обществе материальный рост, повышение качества жизни человека обеспечивается увеличением расхода энергии и ростом ее душевого потребления,

а природа имела бы возможность воспроизводить изъяты у нее биологические ресурсы для производства энергии. За счет сокращения расхода первичных энергоносителей природной среды и энергосбережения в электроэнергетической системе можно разрешить отмеченное сложное противоречие для сохранения жизни на земле.

Закон движения и распределения энергии в упругих средах различной физической природы и закон сохранения энергии в электромагнитном поле открыты в XIX веке русским профессором Н. А. Умовым [1] и английским профессором Д. Г. Пойнтингом [2]. Теоремой Умова-Пойнтинга аналитически доказано сокращение продолжительности необратимого преобразования электрической энергии в иной вид энергии реактивными накопителями. С изобретением силовых полупроводниковых приборов (СПП) за рубежом и в России широко применяются электронные преобразователи для управления технологическими процессами на предприятиях, в быту населения и на транспорте [3]. Полупроводниковыми регуляторами напряжения сокращается продолжительность использования природных ресурсов, выполняемой работы на электростанциях, работы системы электроснабжения при реализации электрифицированных технологических процессов [4, 5]. По согласованию с авторами статьи в 2015 г. редакцией журнала «Rusnauka» в интернете опубликован уточненный закон сохранения энергии [6], которым учитывается сокращение продолжительности использования электрической энергии для выполнения работы коммутационным оборудованием (КО) и реактивными накопителями энергии.

Теория электромагнитных и энергетических процессов [7, 8] опирается на уточненный закон сохранения энергии в электромагнитном поле, второй закон Кирхгофа, спектральный анализ и компьютерное моделирование. В расчетах используется спектр гармонических составляющих напряжения, тока, полной, активной, реактивной и потенциальной мощности в пределах допустимой погрешности результатов исследования.

Предложен баланс мощностей в контурах и в электроэнергетической системе в целом (1) для оценки эффективности использования напряжения при выполнении работы с помощью электрической энергии.

$$\sqrt{S^2 - \Delta S^2} = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

где  $S$  – полная мощность на входе полупроводникового преобразователя;

$P$  – активная мощность учитываемых составляющих ряда Фурье напряжения и одноименных составляющих тока на входе полупроводникового преобразователя,

$Q$  – реактивная мощность учитываемых составляющих ряда Фурье напряжения и одноименных составляющих тока на входе полупроводникового преобразователя;

$\Delta S$  – часть полной мощности  $S$  (потенциальная мощность), на входе полупроводникового преобразователя с нагрузкой, которой учитывается сокращение продолжительности необратимого преобразования электрической энергии в иной вид энергии и изменение интенсивности энергообмена реактивных элементов в электрической цепи с источником энергии.

Полная мощность  $S$  на входе преобразователя с нагрузкой (2) рассчитывается по формуле:

$$S = \sqrt{\sum_{k=0}^n U_k^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=0}^n I_k^2} = U \cdot I, \quad (2)$$

где  $U_k$  – действующее напряжение  $k$ -й составляющей ряда Фурье на входе преобразователя,

$I_k$  – действующий ток одноименной  $k$ -й составляющей ряда Фурье на входе преобразователя,

$U$  – действующее напряжение на входе преобразователя,

$I$  – действующий ток на входе преобразователя,

$k$  – номер составляющей ряда Фурье,

$n$  – номер последней из учитываемых гармоник.

Активную мощность  $P$  (3), характеризующую электрическую энергию на входе преобразователя необратимо преобразованную в иной вид энергии, предложено рассчитывать по формуле:

$$P = U_{C0} \cdot I_0 + \sum_{k=1}^n U_{Ck} \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k, \quad (3)$$

где  $U_{C0}$  – постоянная составляющая напряжения на входе преобразователя во время проводящего состояния СПП;

$I_0$  – постоянная составляющая тока на входе преобразователя;

$U_{Ck}$  – действующее напряжение  $k$ -й гармоники на входе преобразователя во время проводящего состояния СПП;

$\varphi_k$  – угол сдвига по фазе тока  $k$ -й гармоники относительно одноименной  $k$ -й гармоники напряжения.

Реактивная мощность  $Q$  (4) характеризует интенсивность энергообмена в электрической цепи между реактивными элементами и источни-

ком энергии, формируется одноименными гармониками напряжения и тока на входе преобразователя с нагрузкой.

$$Q = \sum_{k=1}^n U_{Ck} \cdot I_k \cdot \sin \varphi_k . \quad (4)$$

Часть полной мощности на входе полупроводникового преобразователя с нагрузкой (потенциальная мощность)  $\Delta S$  (5), характеризует электрическую энергию, с помощью которой можно было бы выполнять работу в приемнике энергии, энергообмен в электрической цепи при условии полного использования напряжения на входе преобразователя:

$$\Delta S = \sqrt{\sum_{k=0}^n U_{Pk}^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=0}^n I_k^2} = U_P \cdot I , \quad (5)$$

где  $U_{Pk}$  – действующее напряжение  $k$ -й гармоники на входе преобразователя с нагрузкой во время непроводящего состояния или коммутации тока СПП в преобразователе,

$U_P$  – действующее напряжение на входе преобразователя с нагрузкой во время непроводящего состояния (паузы) или коммутации тока СПП в преобразователе.

Интегральный аргумент электрического сопротивления  $\varphi_\Sigma$  (6) в контурах электрической цепи или полной мощности на входе преобразователя, на входе электроэнергетической системы:

$$\varphi_\Sigma = \arctg \frac{\sum_{k=1}^n U_{Ck} \cdot I_k \cdot \sin \varphi_k}{U_{C0} \cdot I_0 + \sum_{k=1}^n U_{Ck} \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k} . \quad (6)$$

Выражения (1–6) позволяют аналитически обосновать энергосберегающее преобразование и регулирование мощности (7) в электрифицированных технологических процессах:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{U^2 - U_P^2}} , \quad (7)$$



Предложенные математические выражения пригодны для оценки электромагнитных, энергетических процессов в любых известных электрических цепях, независимо от способов управления электрифицированными технологическими процессами.

Обоснована целевая функция, алгоритм действий инженера электротехнической специальности при разработке, проектировании, конструировании, изготовлении и эксплуатации оборудования для энергосберегающего необратимого преобразования электрической энергии:

$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{U^2 - U_P^2}} \rightarrow \min$ , если  $U \rightarrow \max$ ,  $U_P \rightarrow 0$ ,  $\varphi_\Sigma \rightarrow 0$ , потери активной мощности в контурах электрической цепи  $\Delta P = I^2 \cdot R \rightarrow \min$ ,  $Q \rightarrow 0$ ,  $\eta = \frac{P}{P + \Delta P} \cdot 100\% \rightarrow 1$ ,

$$K_M = \frac{P}{S} \rightarrow 1.$$

При разработке устройств регулирования реактивной мощности и компенсаторов реактивной мощности целевая функция:  $I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{U^2 - U_P^2}} \rightarrow$

$\min$ , если  $U \rightarrow \max$ ,  $U_P \rightarrow 0$ ,  $\varphi_\Sigma \rightarrow \pi/2$ ,  $P \rightarrow 0$ ,  $\Delta P = I^2 \cdot R \rightarrow \min$ .

Для реализации целевой функции подготовки инженеров обращается внимание будущих специалистов на оценку использования напряжения на входе полупроводниковых регуляторов мощности путем регулирования величины тока, потребляемого из сети (8) за счет изменения величины полного электрического сопротивления  $Z$  в пределах от  $\infty$  до номинального  $Z_H$ :

$$I = \frac{U}{Z \uparrow \downarrow}, \quad (8)$$

где  $Z$  – полное входное электрическое сопротивление контура, электроэнергетической системы в целом. При полном использовании напряжения для выполнения работы в электрифицированных технологических процессах придается активный характер входному электрическому сопротивлению  $Z \rightarrow R$  для того, чтобы интегральный аргумент  $\varphi_\Sigma \rightarrow 0$ . В лаборатории применяются экспериментальные стенды с повышением напряжения до амплитуды мгновенного значения переменного напряжения для снижения величины потребляемого тока из питающей сети.

При использовании электрической энергии для управления процессами энергообмена в электроэнергетической системе придается реактивный характер входному электрическому сопротивлению  $Z \rightarrow X$  для того, чтобы интегральный аргумент  $\varphi_\Sigma \rightarrow \pi/2$ .

На практических и лабораторных занятиях студенты выполняют расчеты и экспериментальные исследования электромагнитных и энергетических процессов с применением известной и предложенной теории. На лабораторных работах сравниваются результаты исследования электромагнитных и энергетических процессов при применении полупроводниковых регуляторов напряжения и полупроводниковых регуляторов мощности с изменением входного электрического сопротивления.

Предложенный алгоритм действий инженеров электротехнической специальности реализован на примере повышения производительности и эффективности транспортной работы путем модернизации системы энергетического обеспечения движения поездов с максимальным использованием оборудования инфраструктуры железной дороги. Модернизация направлена на применение индуктивности трансформаторов тяговых подстанций, контактной сети переменного тока напряжением 25 кВ 50 Гц и индуктивности тягового трансформатора электропоезда (ЭПС) для повышения напряжения в контурах электроэнергетической системы участка железной дороги.

Рассмотрим часть однофазного выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП) ЭПС на четвертой зоне регулирования (рис. 1) в режиме тяги поезда.

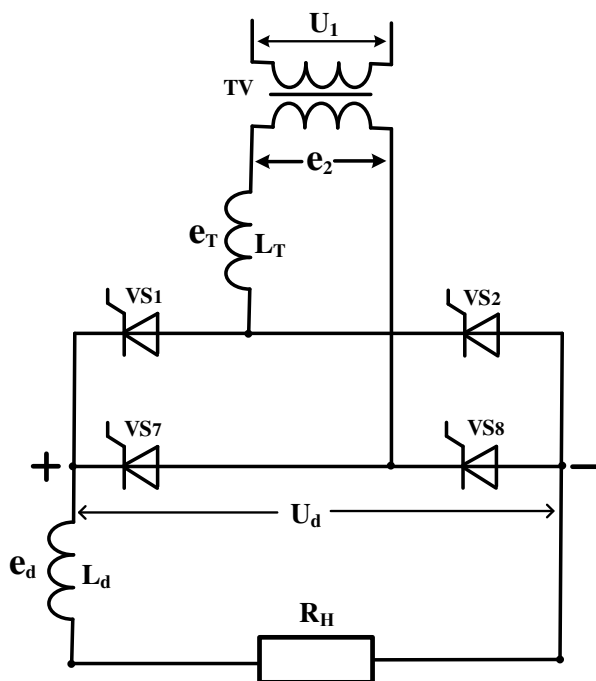


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема ВИП ЭПС на четвертой зоне регулирования

Во время коммутации тока в тиристорах ВИП  $VS_1 - VS_8$  и  $VS_2 - VS_7$  к ЭДС в индуктивности контактной сети переменного тока и ЭДС в индуктивности трансформаторов тяговых подстанций (ТП) добавляются ЭДС  $e_d, e_T, e_2$ . Во время коммутации тока выводы вторичной обмотки трансформатора TV тиристорами замыкаются, а перечисленные ЭДС в контуре переменного тока повышают напряжение за счет крутых фронтов и срезов тока коммутации в контуре вторичной и первичной обмотки TV.

Метод исследования реализован расчетами электромеханических величин и общепри-

нятых оценок эффективности электрической тяги поезда с применением программы MATLAB компьютерного имитационного моделирования в среде Simulink. Спектральный анализ выполнен с применением быстрого преобразования Фурье (FFT), а расчеты произведены с использованием формул [7, 8], которые апробированы на научных конференциях и проверены на экспериментальных стендах. На ТП линейное напряжение вторичной обмотки трансформаторов ТДТНЖ-40000-220 на холостом ходу установлено 27,5 кВ (рис. 2).

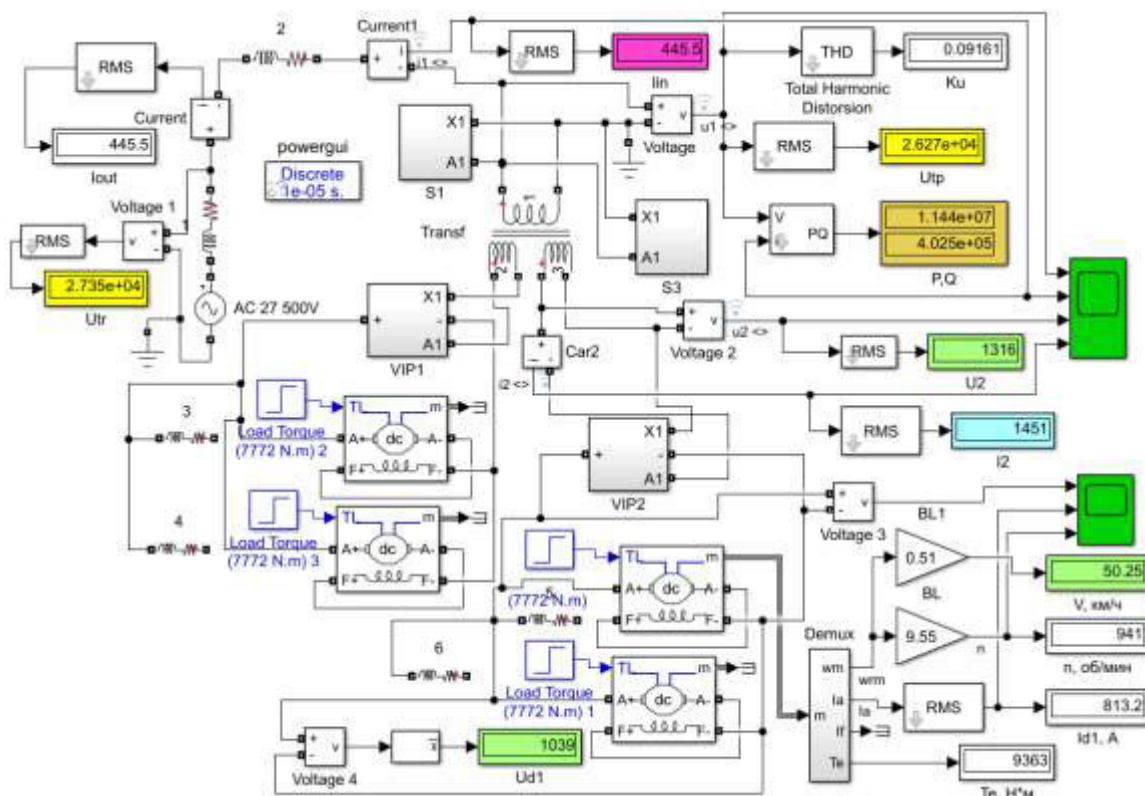


Рис. 2. Имитационная модель модернизированной системы электрической тяги поезда массой 7500 т со скоростью 50 км/ч

С ТП, расположенных на расстоянии 50 км друг от друга, и поста секционирования в середине межподстанционной зоны через контактную подвеску ПБСМ-95, МФ-100, А-185 подано переменное напряжение на ЭПС.

3-х-секционным электровозом с коллекторными ТЭД НБ-514Б,  $U_H = 1000$  В,  $I_H = 810$  А выполняется тяга поезда массой 7500 т со средней скоростью 50 км/ч (рис. 2) на спрямленном профиле пути. Оборудование в секциях  $S_1$  и  $S_3$  ЭПС для имитационного моделирования такое же, как в секции  $S_2$  и более подробно представлено на рис. 2.

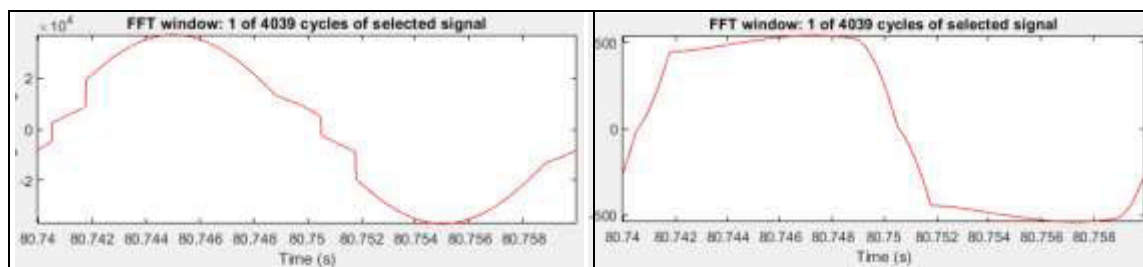


Рис. 3. Осциллограммы напряжения и тока в контактной сети

Таблица 1

**Гармонические составляющие напряжения и тока в контактной сети**

| Гармоника                 | 1     | 3      | 5     | 7     | 9     | 11    | 13    | 15    | 17    | 19    | $\Sigma$      |
|---------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| $U_1$ , В                 | 26160 | 1569,6 | 374,1 | 656,1 | 905,1 | 779,6 | 565,1 | 392,4 | 138,6 | 138,6 | 26270         |
| $I_1$ , А                 | 437,5 | 79,58  | 11,46 | 12,38 | 15,4  | 10,85 | 6,65  | 3,98  | 1,27  | 1,14  | 445,5         |
| $\varphi_k$ ,<br>эл. град | 2     | 262,6  | 265,4 | -93,2 | -92,7 | -92,3 | -92,1 | -91,9 | -91,9 | -91,4 | <b>1,18</b>   |
| $P_{1k}$ , кВт            | 11438 | -16,09 | -0,34 | -0,45 | -0,66 | -0,34 | -0,14 | -0,05 | -0,06 | -0,04 | 11419,8       |
| $Q_{1k}$ , кВАр           | 399,4 | -123,8 | -4,2  | -8,11 | -13,9 | -8,45 | -3,75 | -1,56 | -0,18 | -0,16 | <b>235,29</b> |
| $\Delta P/\Delta Q$ , %   |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,2/41        |

Из результата моделирования, осциллограмм и спектрального анализа следует, что продолжительность использования питающего напряжения для тяги поезда увеличивается.

Таблица 2

**Сравнительные показатели электрической тяги**

|    | Параметры СОД грузовых поездов                                                                     | До модерни-<br>зации | После модер-<br>низации |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1  | Полная мощность в ТП $S_{тр}$ , МВА                                                                | 11,48                | 12,18                   |
| 2  | Активная мощность в ТП $P_{тр}$ , МВт                                                              | 10,3                 | 11,94                   |
| 3  | <b>Интегральный аргумент электрического сопротивления СОД <math>\varphi_{\Sigma}</math>, град.</b> | <b>23,64</b>         | <b>1,18</b>             |
| 4  | <b>Коэффициент мощности электрической тяги <math>K_m</math>, о.е.</b>                              | <b>0,897</b>         | <b>0,98</b>             |
| 5  | Ток в системе тягового электроснабжения $I_{ин}$ , А                                               | 459,8                | 445,5                   |
| 6  | КПД контактной сети $\eta_{kc}$ , %                                                                | 94,87                | 95,8                    |
| 7  | <b>Потери напряжения в контактной сети <math>\Delta U</math>, кВ</b>                               | <b>1,69</b>          | <b>1,08</b>             |
| 8  | <b>Действующее напряжение на токоприемнике ЭПС <math>U_{тр}</math>, кВ</b>                         | <b>24,97</b>         | <b>26,27</b>            |
| 9  | Активная мощность на токоприемнике ЭПС $P$ , МВт                                                   | 9,772                | 11,419                  |
| 10 | <b>Реактивная мощность на токоприемнике ЭПС <math>Q</math>, кВАр</b>                               | <b>4250</b>          | <b>402,5</b>            |
| 11 | КПД трансформатора и ВИП ЭПС $\eta_{VIP}$ , %                                                      | 86,5                 | 97,7                    |
| 12 | <b>Напряжение на обмотках ТЭД <math>U_d</math>, В</b>                                              | <b>867,9</b>         | <b>1039</b>             |

Окончание табл. 2

|    | Параметры СОД грузовых поездов                                                   | До модерни-<br>зации | После модер-<br>низации |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 13 | Суммарный ток в обмотках якоря 12-и ТЭД НБ-514Б $I_a$ , А                        | 9739,2               | 9758,4                  |
| 14 | Суммарная мощность на валу 12-и ТЭД $P_B$ , МВт                                  | 7,875                | 9,189                   |
| 15 | КПД ТЭД НБ-514Б ЭПС $\eta_{ТЭД}$ , %                                             | 93,17                | 90,64                   |
| 18 | <b>КПД электрической тяги поезда</b><br>$\eta_{ЭТ} = (P_B / P_{тр}) \cdot 100$ % | <b>76,4</b>          | <b>84,8</b>             |
| 16 | <b>Суммарный коэффициент гармонических составляющих <math>K_U</math>, %</b>      | <b>17,79</b>         | <b>9,16</b>             |
| 17 | Масса поезда с 3-х-секционным ЭПС, т                                             | 7500                 | 7500                    |
| 19 | <b>Скорость движения поезда <math>V</math>, км/ч</b>                             | <b>43</b>            | <b>50,2</b>             |

В табл. 2 представлены показатели электрической тяги поезда до модернизации, которые опубликованы в журнале Известия Транссиба [9] и практически совпадают с данными, полученные из отчетов ОАО РЖД.

Выполнены исследования усовершенствованной системы электрической тяги на расчетном подъеме профиля пути в пределах часового режима работы тяговых коллекторных электродвигателей (ТЭД) (рис. 5). Для этого момент сопротивления на валу каждого ТЭД (Load Torque) увеличен до 8550 Нм.

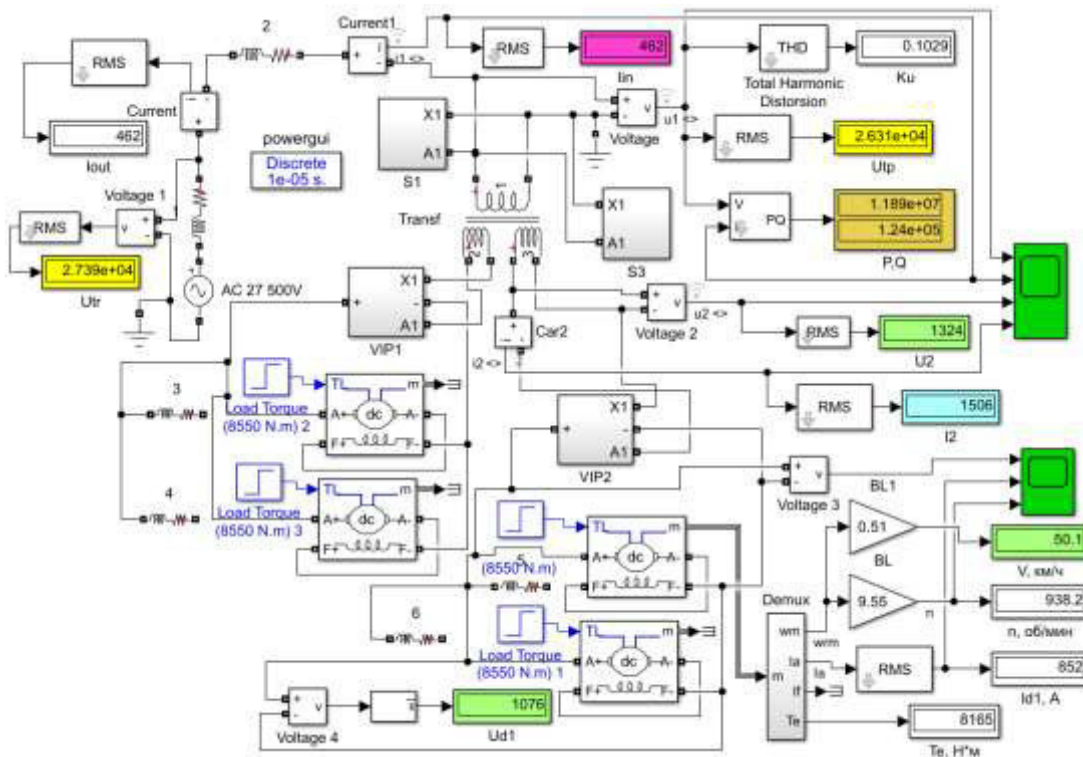


Рис. 5. Имитационная модель модернизированной системы электрической тяги поезда на расчётном подъеме профиля пути



С увеличением момента сопротивления на валу ТЭД ток в обмотках увеличился с 813,2 А до 852 А. Напряжение в контурах системы повысилось. Действующее напряжение на ТП  $U_{tr} = 27,39$  кВ, действующее напряжение  $U_{tp} = 26,31$  кВ в первичной обмотке тягового трансформатора ЭПС при увеличении действующего тока до  $I_{in} = 462$  А в контуре переменного тока по сравнению с током при номинальном моменте сопротивления на валу ТЭД. Суммарный коэффициент гармонических составляющих  $K_U = 10,29$  % повысился. Увеличилось действующее напряжение в контуре вторичной обмотки трансформатора  $U_2 = 1324$  В, и повысилось напряжение  $U_{d1} = 1076$  В на обмотках ТЭД. Скорость движения поезда  $V = 50,1$  км/ч на расчетном подъеме осталась практически без изменения.

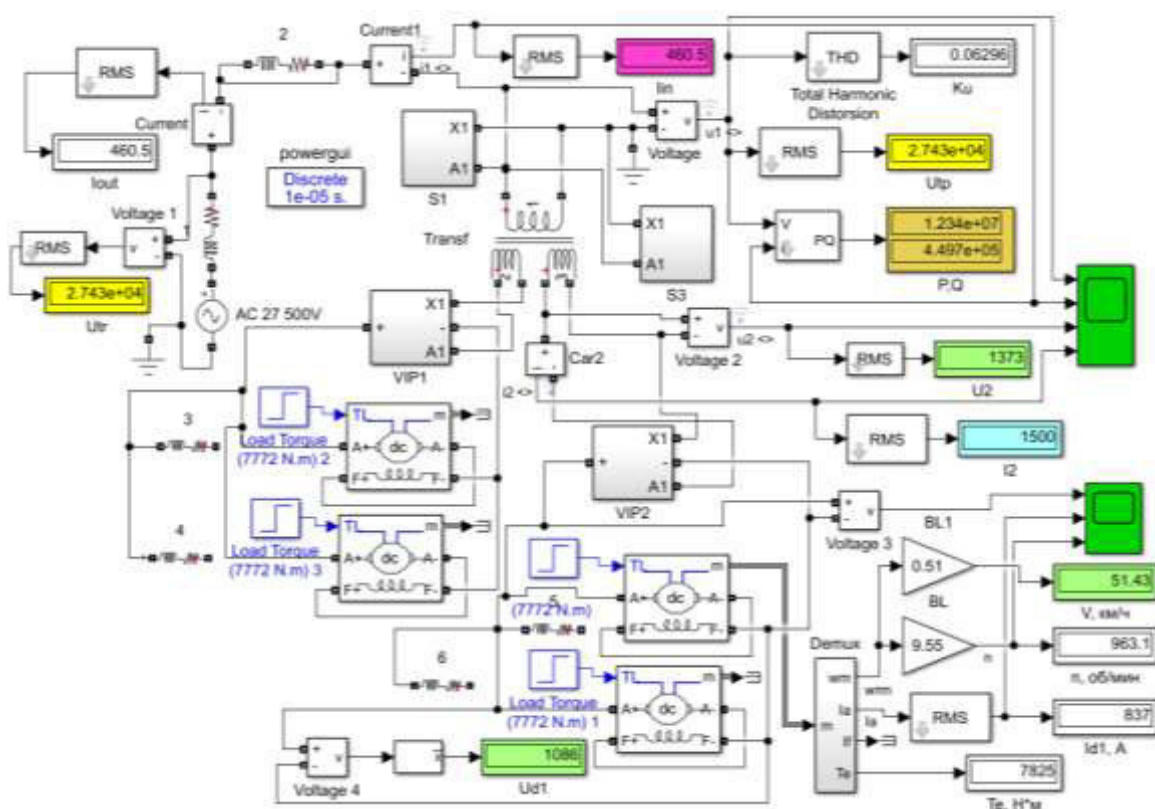


Рис. 6. Имитационная модель модернизированной системы электрической тяги поезда вблизи ТП

Измерители активной и реактивной мощности  $P$ ,  $Q$  первой гармоники напряжения и тока позволяют определить активную  $P_{1(1)} = 11,89$  МВт и реактивную  $Q_{1(1)} = 124$  кВАр мощности в первичной обмотке тягового трансформатора ЭПС. Увеличение активной мощности и снижение реактивной мощности по сравнению с мощностями

ми при номинальной нагрузке ТЭД свидетельствуют об улучшении энергетической эффективности системы без снижения производительности транспортной работы.

Выполнены исследования работы системы электрической тяги вблизи ТП, когда практически активное сопротивление и индуктивность контактной сети равны нулю. Для этого в имитационной модели системы (рис. 6) зашунтировано активно-индуктивное сопротивление 2, эквивалентное электрическому сопротивлению проводов контактной подвески.

В контуре переменного тока системы электрическое сопротивление снизилось, поэтому действующее напряжение на ТП и первичной обмотке  $U_{тр} = U_{тп} = 27,43$  кВ тягового трансформатора увеличились. Ток в контуре  $I_{ин} = 460,5$  А приблизился к току, потребляемому от ТП при работе системы тяги на расчетном подъеме. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U = 6,29$  % снизился до минимальной величины. Увеличилось действующее напряжение в контуре вторичной обмотки трансформатора  $U_2 = 1373$  В, и повысилось напряжение  $U_{д1} = 1086$  В на обмотках ТЭД. Скорость движения поезда вблизи ТП  $V = 51,4$  км/ч повысилась.

Результаты исследования системы тяги в различных режимах работы свидетельствуют о взаимосвязи действующего тока и индуктивности в контурах с величинами ЭДС самоиндукции. Электромагнитные, энергетические показатели системы улучшаются, а производительность транспортной работы не снижается при работе модернизированной системы на линии. Так как ТП обычно размещаются рядом с железнодорожными станциями, то для выполнения ограничений по скорости движения поезда необходимо увеличивать угол регулирования  $\alpha_r$  тиристоры ВИП. С повышением угла регулирования тиристоры ВИП электромагнитные и энергетические показатели системы ухудшаются во всех четырех зонах регулирования.

Основным фактором изменения ситуации в грузовой работе ОАО «РЖД» является величина интегрального аргумента электрического сопротивления  $\varphi_{\Sigma}$  СОД при работе ЭПС в середине межподстанционной зоны. После модернизации  $\varphi_{\Sigma}$  практически снизился более чем в 3 раза и свидетельствует об увеличении продолжительности использования напряжения системы внешнего электроснабжения (СВЭ) для тяги поезда. Повышается необратимое преобразование электрической энергии ( $K_M$ ) на 7,8 % и повышается действующее напряжение на токоприемнике  $U_{тп}$  ЭПС на 1,2 кВ. Снижаются потери напряжения в контактной сети  $\Delta U$  на 30 % и снижается реактивная мощность  $Q$  на токоприемнике ЭПС на 66,5 %. КПД электрической тяги грузового поезда  $\eta_{ЭТ}$  повы-

шается на 3,8 %, а электромагнитные помехи в контактной сети ( $K_U$ ) снижаются на 7,2 %.

Улучшение работы СОД тягового электроснабжения и ВИП ЭПС достигнуто за счет повышения напряжения на обмотках  $U_d$  ТЭД на 22,1 % и увеличения скорости движения поезда на 14 %. Резервы в загрузке контактной сети током позволяют тягу 2-х соединенных поездов суммарной массой 15000 т со средней скоростью движения 50 км/ч современными трехсекционными ЭПС. Показатели работы получены без применения фильтров и компенсирующих устройств.

**Выводы.** С усовершенствованием системы электрической тяги поездов на переменном токе напряжением 25 кВ 50 Гц в межподстанционной зоне можно обеспечивать тягу 2-х соединенных поездов суммарной массой 15000 т трехсекционными ЭПС со средней скоростью 50 км/ч. Для совершенствования системы потребуются капитальные затраты на оборудование одного трехсекционного ЭПС в 300 тыс. рублей. С введением на БАМе в эксплуатацию двух путей железной дороги, на Транссибе ОАО «РЖД» от ст. Тайшет-Западный до ст. Мариинск можно ожидать увеличение объема грузовой работы. Совершенствование тяги поездов способствует увеличению провозной и пропускной способности железных дорог со значительным сокращением затрат на электрическую энергию и повышением электромагнитной совместимости тягового оборудования с оборудованием смежной инфраструктуры железной дороги и СЭВ. Проект внедрения усовершенствованной системы электрической тяги является эффективным и самое главное позволяет накопить опыт разработки, проектирования, конструирования, изготовления и эксплуатации наукоемких инновационных технологий для дальнейшего повышения производительности транспортных работ. Дисконтируемый срок окупаемости затрат оценивается на уровне не более 1 года. С применением предложенной технологии в системах с трехфазными электрическими цепями и с автономными источниками энергии можно значительно снизить расход первичных энергоносителей, износ оборудования и увеличить радиус действия мобильного транспорта.

#### *Библиографический список*

1. Умов, Н. А. Избранные сочинения / Н. А. Умов. – М.-Л. : Гостехиздат, 1950. – 571 с. – Текст : непосредственный.
2. Poynting, J. H. On the Transfer of Energy in the Electromagnetic Field / J. H. Poynting. – Текст : непосредственный // Philosophical Transactions of the Royal Society. – London: 175, 1884. – P. 343–361.

3. Бурков, А. Т. Электроника и преобразовательная техника / А. Т. Бурков. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2015. – Том 2. – 307 с. – Текст : непосредственный.

4. Алексеева, Т. Л. Анализ закономерностей регулирования мощности в электроэнергетической системе / Т. Л. Алексеева. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 208 с. – Текст : непосредственный.

5. Рябченко, Н. Л. Повышение энергетической эффективности регуляторов мощности электроподвижного состава / Н. Л. Рябченко. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – 196 с. – Текст : непосредственный.

6. Рябченко, Н. Л. Уточнённый закон сохранения энергии / Н. Л. Рябченко, Т. Л. Алексеева, К. П. Якобчук, Л. А. Астраханцев. – URL : [http://www.rusnauka.com/42\\_PRNT\\_2015/Tecnic/5\\_202603.doc.htm](http://www.rusnauka.com/42_PRNT_2015/Tecnic/5_202603.doc.htm). – Текст : электронный.

7. Алексеева, Т. Л. Энергетическая эффективность в электрических цепях с полупроводниковыми приборами / Т. Л. Алексеева, Н. Л. Рябченко, Л. А. Астраханцев, В. А. Тихомиров. – Текст : непосредственный // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2020. – Том 20, № 2. – С. 89–98. DOI: 10.14529/power200208.

8. Astrakhansev, L. Energy-efficient power regulators for electric railway vehicles. – X International Scientific and Technical Conference “Polytransport Systems” / L. Astrakhansev, N. Ryabchyonok, T. Alekseeva, A. Khomenko and A. Martusov. – Tomsk, Russia : MATEC Web of Conferences, V. 216 (2018). – URL : <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821602001>. – Текст : электронный.

9. Рябченко, Н. Л. Энергетическая эффективность тягового привода магистральных электровозов / Н. Л. Рябченко, Т. Л. Алексеева, Л. А. Астраханцев, В. А. Тихомиров. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск. – 2020. – № 1 (41). – С. 29–41.

***А. М. Чулембаев***

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

### **АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

*В рамках данной работы был проведён глубокий анализ нормативных требований к качеству электроэнергии в сетях электрифицированных*

*ных железных дорог различных стран мира. Особое внимание было уделено изучению уровней допустимых отклонений напряжения и частоты, а также содержанию высших гармоник. Исследование показало, что между разными странами существуют значительные различия в этих параметрах, которые обусловлены использованием разнообразного оборудования, климатическими условиями и степенью загруженности железнодорожных линий. Полученные результаты имеют важное практическое значение для проектирования и эксплуатации электрических систем железных дорог.*

*Ключевые слова: электроэнергия, железные дороги, электрический транспорт, электровагоны, гармоника, нормативные документы.*

Электрический подвижной состав является основой железнодорожных систем и несёт огромное значение для эффективного функционирования транспортной сети, а также является одним из самых крупных и стабильных транспортных потребителей энергоресурсов. В связи с этим одной из наиболее актуальных проблем железнодорожного транспорта является задача снижения доли затрат на потребляемые энергоресурсы в себестоимости перевозочного процесса. Ориентация железнодорожного транспорта главным образом на электропотребление совпадает с общей направленностью энергетики страны.

В настоящее время наблюдается увеличение использования асинхронных тяговых двигателей на электрифицированных железных дорогах постоянного тока. Это связано с их преимуществами, такими как высокая эффективность, надежность и удобство обслуживания. Однако, вместе с этим, возникают проблемы в области электромагнитной совместимости. [2]

Электромагнитная совместимость является важным условием для обеспечения безопасности и надежности железнодорожной инфраструктуры. Она связана с возможностью электроподвижного состава и электронных устройств функционировать без помех и взаимных воздействий.

Исходя из данных, представленных в отчете анализа работы Трансэнерго за период, можно увидеть следующие данные. Объем электроэнергии, приобретённой Трансэнерго для нужд ОАО «РЖД», составил 50,553 млрд кВт·ч, что на 4,8 % больше аналогичного периода прошлого года.

Объем оказания услуг по передаче электрической энергии сторонним потребителям увеличился на 4,6 % и составил 32,446 млрд кВт·ч. «Доля» сторонних потребителей от общей переработки осталась на уровне прошлого года и составляет 38,6 %.



Выполнение задания по электропотреблению на эксплуатационные нужды хозяйства – потребление электрической энергии на нетяговые нужды по виду деятельности «перевозки» составило 1 267,493 млн кВт·ч при общем потреблении электрической энергии 2 234,904 млн кВт·ч, что на 0,41 млн кВт·ч меньше установленного лимита на потребление электрической энергии в размере 2 235,314 млн кВт·ч. [1]

Стационарное потребление ОАО «РЖД» в динамике и уровень распределяемых потерь – потребление электрической энергии стационарными потребителями с предъявленными потерями за 2021 год составило 5 082,82 млн кВт·ч.

В отчете был рассмотрен период пандемии в 2020–2021 годов. В связи с частичной отменой ограничительных мер в субъектах Российской Федерации, введенных в 2020 году из-за угрозы распространения новой коронавирусной инфекции и более холодными погодными условиями зимнего периода 2020–2021 года по отношению к прошлому периоду увеличилось потребление электрической энергии стационарными потребителями на 306,03 млн кВт·ч и составило 4 868,02 млн кВт·ч. Объем потерь электроэнергии, предъявленный стационарным железнодорожным потребителям ОАО «РЖД» в среднем по сети, в 2021 году по отношению к 2020 году в абсолютной величине увеличился на 8,27 млн кВт·ч и составил 214,80 млн кВт·ч. В относительной величине произошло снижение указанного объема потерь электроэнергии на 0,12 % и составило 5,0 % от объема потребления электроэнергии указанными потребителями.

В отчете также рассматриваются вопросы тарифного регулирования услуг по передаче электрической энергии по сетям ОАО «РЖД». [3]

Задачей филиала является ежегодное обеспечение защиты тарифов на передачу электроэнергии в органах исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области государственного регулирования тарифов в 70 субъектах Российской Федерации. Учитывая организационную структуру ОАО «РЖД», заявления формируются в 90 ценовых зонах (дорога/регион).

Согласно Основам ценообразования, при установлении тарифов регулирующие органы обязаны учитывать макроэкономические показатели прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на соответствующий год.

Рост необходимой валовой выручки (далее – НВВ) на передачу электроэнергии сторонним потребителям, утверждённой регулируемыми органами на 2022 год относительно 2021 года, в целом по сети железных дорог составил 3,8 %, в том числе: 3,3 % – содержание сетей; 5,5 % – компенсация потерь (см. Рисунок). [5]



**Рисунок.** Прирост валовой выручки ОАО «РЖД»

Таким образом, можно сделать вывод об успешном итоге прохождения Трансэнерго тарифной кампании 2022 года.

НВВ на содержание сетей и оплату потерь утверждена регулирующими органами в размере 13 798,9 млн рублей, в том числе:

- на содержание сетей – 11 163,0 млн рублей;
- на компенсацию потерь – 2 635,9 млн рублей.

Наибольший прирост НВВ на содержание сетей наблюдается в границах Юго-Восточной железной дороги – 16,3 %, Свердловской железной дороги – 11,2 %, Московской железной дороги – 10,3 % и Дальневосточной железной дороги – 6,4 %. [6]

Снижение НВВ на содержание сетей допущено в границах Красноярской железной дороги – на 12,8 %, Приволжской железной дороги – 10,5 %, Южно-Уральской железной дороги – 2,9 %, Октябрьской железной дороги – 0,8 %, Приволжской железной дороги – 10,5 % и Куйбышевской железной дороги – 0,1 %.

В целях исполнения законодательства Российской Федерации в области электроэнергетики и исключения рисков снижения регулирующими органами необходимой валовой выручки в 2021 году была организована и проведена работа по формированию, утверждению и корректировке ранее утвержденных региональных инвестиционных программ (далее – ИПР) в уполномоченных органах исполнительной власти субъектов Российской Федерации. [5, 6]

По итогам данной работы были утверждены и скорректированы 69 региональных ИПР, из них: утверждены – 3 региональные ИПР:

- Тульская область – Московская дирекция, Республика Башкортостан – Куйбышевская дирекция, Республика Хакасия – Красноярская дирекция; скорректированы – 66 региональных ИПР:

Текущее состояние электрической энергии в системах электроснабжения железнодорожного транспорта в условиях тяжеловесного движения поездов с электровозами с асинхронным тяговым приводом регулируется нормативными документами, которые гарантируют безопасность и эффективность работы всей системы. [4]

Один из главных нормативных документов, регулирующих качество электрической энергии в системах электроснабжения железнодорожного транспорта, является ГОСТ Р 56157-2014 «Системы электроснабжения железных дорог». Этот стандарт устанавливает основные требования к системам электроснабжения железнодорожного транспорта, включая качество электрической энергии. Он определяет такие параметры, как напряжение, частоту, гармонические и перепады напряжения, а также параметры асинхронного тягового привода.

Еще одним важным нормативным документом в данной области является Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного транспорта». Он содержит требования к оборудованию, системам и компонентам электроснабжения железнодорожного транспорта, включая электровозы с асинхронным тяговым приводом. Важной частью этого технического регламента являются требования к электромагнитной совместимости, которые направлены на устранение помех, связанных с использованием электрооборудования, и обеспечение эффективной работы системы электроснабжения. [1]

Другим значимым документом регулирования качества электрической энергии является ГОСТ 32137-2013 «Система мониторинга и контроля параметров качества электрической энергии». Он определяет методы мониторинга и контроля параметров качества электрической энергии, включая частоту, перепады напряжения, гармоники, несинусоидальность и симметрию.

Все эти нормативные документы в совокупности гарантируют обеспечение высокого качества электрической энергии в системах электроснабжения железнодорожного транспорта при тяжеловесном движении поездов с электровозами с асинхронным тяговым приводом. Они обеспечивают безопасность, эффективность работы и минимизацию возможных негативных воздействий на окружающую среду. Регулярное соблюдение данных нормативных документов является необходимым условием для обеспечения устойчивого функционирования систем электроснабжения железнодорожного транспорта. [2]

В этих стандартах были использованы следующие нормативные ссылки и следующие стандарты:

- ГОСТ 29322-2014 Напряжения стандартные
- ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии
- ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009)

Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств

- ГОСТ 30804.3.3-2013 (МЭК61000-3-3:2008)

Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с номинальным током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения. [3]

Для сравнения норм и требований представим таблицу классификаторов и ГОСТов разных стран, занимающихся вопросами энергетической эффективности и проблемой ресурсосбережения, а именно сравнение стандартов разных стран по показателю суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения.

Некоторые страны, известные своими строгими стандартами в области энергоэффективности и качества электроэнергии, включают Германию, Францию, Японию и Швейцарию. Эти страны активно инвестируют в технологии и инфраструктуру для поддержания высоких стандартов качества электроэнергии и минимизации влияния гармонических искажений. [4]

*Таблица 1*

**Сравнение стандартов разных стран по показателю суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения**

| Документ        | Страна                                                                | Нормы и требования                  |                                    |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
|                 |                                                                       | Низкое напряжение                   | Среднее напряжение                 |
| ГОСТ 32144-2013 | Российская Федерация                                                  | НДЗ не более 8 %, ПДЗ не более 12 % | НДЗ не более 4 %, ПДЗ не более 6 % |
| EN 50160:2010   | Европейский союз (Франция, Германия, Венгрия, Италия, Испания и т.д.) | 8 % в течение 95 % в неделю         | 5 % в течение 95% в неделю         |

Окончание табл. 1

| Документ           | Страна                              | Нормы и требования                                                                                                                         |                             |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                    |                                     | Низкое напряжение                                                                                                                          | Среднее напряжение          |
| IEEE Std 519       | Америка                             | 8 % в течение 95 % в неделю                                                                                                                | 5 % в течение 95 % в неделю |
| AS/NZS 61000.3.6   | Океания (Австралия, Новая Зеландия) | Не более 5 %                                                                                                                               | Не более 3 %                |
| SS4211811          | Швеция                              | На все напряжения не более 6 %                                                                                                             |                             |
| GB/T 15543-2008    | Китай                               | Не более 5 %                                                                                                                               | Не более 3 %                |
| IEC 1000-2-4 (МЭК) | ЮАР                                 | Класс 1–5 % в течение 95 % времени в неделю<br>Класс 2–8 % в течение 95 % времени в неделю<br>Класс 3–10 % в течение 95 % времени в неделю |                             |

На основе сравнения в табл. 1, можно сделать следующие выводы:

1. Российская Федерация имеет достаточно высокий уровень потребления электроэнергии. Нормы напряжения для промышленности и населения составляют до 8 % от номинального значения и до 12 % соответственно. Среднее напряжение также находится на высоком уровне – не более 6 %.

2. В Европейской Союзе средний уровень напряжения составляет 5 % в течение недели и 95 % в течение суток, что указывает на стабильное электроснабжение.

3. Нормы напряжения для Америки аналогичны российским, однако среднее напряжение немного ниже – не более 3 %.

4. В Австралии и Новой Зеландии, а также в Швеции и Китае нормы напряжения значительно ниже, чем в других регионах, но средние показатели остаются в пределах допустимых значений.

5. В ЮАР, несмотря на колебания напряжения, в целом оно соответствует норме и остается стабильным. [5]

Таблица 2

**Сравнение стандартов разных стран  
по коэффициенту n-й гармонической составляющей напряжения**

| Документ        | Страна                                                                | Нормы и требования                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| ГОСТ 32144-2013 | Российская Федерация                                                  | НДЗ не более 4 %, ПДЗ не более 6 % |
| EN 50160:2010   | Европейский союз (Франция, Германия, Венгрия, Италия, Испания и т.д.) | 5 % в течение 95 % в неделю        |



Окончание табл. 2

| Документ           | Страна                              | Нормы и требования                                                                |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| IEEE Std 519       | Америка                             | На все напряжения не более 5 %                                                    |
| AS/NZS 61000.3.6   | Океания (Австралия, Новая Зеландия) | Для нечетных гармоник: до 33 кВ – 4 % Для четных гармоник: до 33 кВ – 2 %         |
| SS4211811          | Швеция                              | Для каждой из нечетных ВГ – 4 %, четных – 1 %, в течение 10-мин интервала в сутки |
| GB/T 15543-2008    | Китай                               | Для нечетных гармоник: 0,38 кВ – 4 % Для четных гармоник: 0,38 кВ – 2 %           |
| IEC 1000-2-4 (МЭК) | ЮАР                                 | Не допускаются                                                                    |

Каждый из этих стандартов имеет свои особенности и подходы к контролю и оценке гармонических составляющих напряжений. Их сравнение позволяет понять, какие меры принимаются в разных странах для обеспечения высокого качества электроэнергии и защиты электрооборудования от негативного воздействия гармоник.

В некоторых странах акцентируется внимание на ограничении гармоник для защиты оборудования и повышения эффективности энергосистем. Например, в Европе и Америке существуют строгие нормы, определяющие допустимые уровни гармонических искажений, что способствует снижению негативного влияния на сети и устройства.

В то же время, некоторые другие страны имеют менее жесткие требования, что может привести к увеличению уровней гармоник и, как следствие, к ухудшению качества электроэнергии. Это может повлиять на срок службы оборудования и общую надежность электросетей.

Таким образом, для обеспечения высокого качества электроэнергии необходимо учитывать международные стандарты и адаптировать их к местным условиям, чтобы минимизировать влияние гармонических искажений и улучшить эффективность работы электросистем. [3]

По результатам анализа нормативных требований к качеству электроэнергии в сетях электрифицированных железных дорог различных стран мира можно сделать следующие выводы:

1. Разные страны применяют различные подходы к регулированию качества электроэнергии, что связано с особенностями национальных энергосистем, технологическим уровнем и историческими факторами.

2. В большинстве развитых стран, таких как Германия, США и Япония, существуют строгие нормы по ограничению гармонических

искажений, что помогает защитить оборудование и повысить надежность работы железнодорожных сетей.

3. Нормативы, касающиеся качества электроэнергии, напрямую влияют на эксплуатационные характеристики подвижного состава и инфраструктуры. Высокое качество электроэнергии способствует снижению износа оборудования и повышению его эффективности.

4. С учетом глобализации и интеграции транспортных систем возникает необходимость в гармонизации стандартов качества электроэнергии на международном уровне, что позволит улучшить совместимость систем и повысить общую надежность.

5. Внедрение новых технологий, таких как системы активного фильтрации и управления качеством электроэнергии, позволяет эффективно справляться с проблемами гармоник и других искажений. [4]

Анализ нормативных требований к качеству электроэнергии в сетях электрифицированных железных дорог показал, что существуют значительные различия между странами в уровне допустимых отклонений напряжения и частоты, а также в уровнях содержания высших гармоник. Эти различия могут быть связаны с различными типами оборудования, климатическими условиями и интенсивностью движения поездов. Для обеспечения надежной работы электрических систем железных дорог необходимо учитывать эти особенности при проектировании и эксплуатации сетей.

#### *Библиографический список*

1. Алсултан, М. Д. Д. Исследование проблем качества электроэнергии в электрификации железных дорог: глубокий анализ / М. Д. Д. Алсултан // Горное оборудование и электромеханика. – 2023. – № 4 (168). – С. 3–19. – DOI 10.26730/1816-4528-2023-4-3-19. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=54491560>. – Текст : электронный.

2. Балахончик, С. И. Концепции и перспективы электрификации железнодорожного транспорта / С. И. Балахончик, А. В. Садовец // Студенческий. – 2022. – № 36-4 (206). – С. 25–28. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=49809913>. – Текст : электронный.

3. Богданова, К. В. Влияние тяговой нагрузки электрифицированных железных дорог на качество электроэнергии в сетях / К. В. Богданова // Железнодорожный транспорт и технологии : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 29–30 ноября 2022 года / Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС). Выпуск 1 (249). – Екатеринбург : Уральский гос-

ударственный университет путей сообщения, 2023. – С. 60–62. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=50784904>. – Текст : электронный.

4. Булатов, Ю. Н. Анализ процессов в системах тягового электро-снабжения при наличии гармонических искажений / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, Е. В. Воронина // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 4 (60). – С. 63–74. – DOI 10.18324/2077-5415-2023-4-63-74. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=54940784>. – Текст : электронный.

5. Литвинцев, В. Г. Исследование комплексного влияния эксплуатационных показателей на потери электрической энергии в контактной сети / В. Г. Литвинцев, А. В. Ларченко // Транспорт Урала. – 2022. – № 1 (72). – С. 93–96. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-1-93-96. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=48279781>. – Текст : электронный.

6. Саликов, И. А. Электроснабжение железных дорог / И. А. Саликов, Е. А. Манакин // Актуальные вопросы эксплуатации подвижного состава в современных условиях : материалы Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 21 апреля 2021 года. – Нижний Новгород : Б. и., 2022. – С. 126–131. – URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=48120131>. – Текст : электронный.

**Т. В. Щеголева**

*Красноярский институт железнодорожного транспорта,  
г. Красноярск, Россия*

### **АНАЛИЗ ПАРКА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР УЧАСТКА КОНТАКТНОЙ СЕТИ АБАКАНСКОЙ ДИСТАНЦИИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*В статье приведён анализ парка железобетонных опор участка контактной сети Абаканской дистанции электроснабжения – структурного подразделения Красноярской дирекции по энергообеспечению – структурного подразделения Трансэнерго – филиала ОАО «Российские железные дороги», показаны дефектные опоры по видам снижения несущей способности, описаны основные дефекты железобетонных опор.*

*Ключевые слова: железобетонные опоры, дефекты, несущая способность.*

Электрифицированная железная дорога представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных устройств, среди которых важнейшее место занимает контактная сеть. Одним из основных элементов кон-

тактной сети являются опоры, обеспечивающие заданное положение контактной подвески в плане и профиле над железнодорожными путями, благодаря чему реализуется передача электроэнергии подвижному составу и надежность токосъема. [1]

На участках электрифицированных железных дорог в настоящее время основными элементами поддерживающих конструкций контактной сети являются железобетонные опоры. Срок эксплуатации многих опор превышает нормируемый в 40 лет, что многократно увеличивает риск возникновения повреждений, а значит, может привести к отказу контактной сети и простою поездов. [2]

По состоянию на 01.01.2024 г. в Абаканской дистанции электроснабжения эксплуатируется 21179 опор контактной сети, из них 18101 – железобетонные и 3078 – металлические, при этом количество опор со сроком службы более 50 лет составляет 8393 шт., в том числе железобетонных 8054 шт или 44,5 % и металлических – 339 шт. или 11 % от общего количества опор. [3]



**Рис. 1.** Опорное хозяйство Абаканской дистанции электроснабжения



**Рис. 2.** Количество опор со сроком службы до 40 лет и более 50 лет

Динамика износа и старения опор контактной сети ежегодно превышает темпы замены и установку новых опор.

Для примера рассмотрен перегон Бискажа-Казынет, на котором выполнен анализ состава парка железобетонных опор. Парк железобетонных опор контактной сети перегона Бискажа-Казынет представлен на рис. 3.

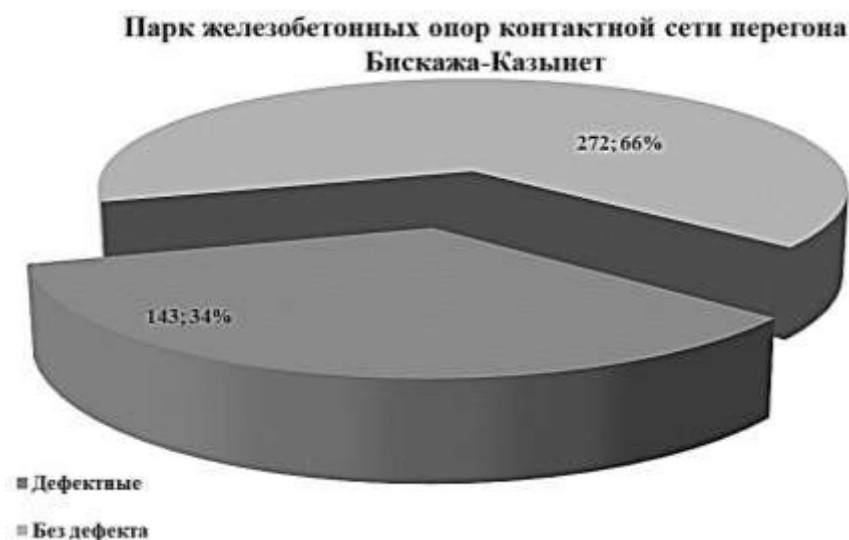


**Рис. 3.** Парк железобетонных опор контактной сети перегона Бискажа-Казынет

Проведен анализ дефектных опор по видам снижения несущей способности и типам обнаруженных дефектов.

Часть ведомости дефектных опор перегона Бискажа-Казынет представлена в Таблице (для анализа использовалась полная ведомость опор).

*Таблица*

**Частичная ведомость дефектных опор**

| № опоры | Марка, тип стойки | Год установки | Дата выявления дефекта | Заключение по ультразвуковому контролю | Описание дефекта                            |
|---------|-------------------|---------------|------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| 3       | СКЦ               | 1982          | 2004                   | значительное                           | продольные трещины, сетка продольных трещин |
| 5       | СКЦ               | 1982          | 2016                   | без снижения                           | сетка продольных трещин                     |
| 15      | СКЦ               | 1982          | 2004                   | без снижения                           | сетка продольных трещин                     |
| 17      | СКЦ               | 1982          | 2016                   | без снижения                           | сетка продольных трещин                     |



Окончание Таблицы

| № опоры | Марка, тип стойки | Год установки | Дата выявления дефекта | Заключение по ультразвуковому контролю | Описание дефекта                                                      |
|---------|-------------------|---------------|------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| бн17    | СКЦ               | 1982          | 2016                   | без снижения                           | сетка продольных трещин                                               |
| 19      | СКЦ               | 1982          | 2016                   | без снижения                           | продольные трещины                                                    |
| 21      | СКЦ               | 1982          | 2004                   | значительное                           | разрушение верхней заглушки, местный выкол бетона, продольные трещины |
| 35      | СКЦ               | 1982          | 2016                   | незначительное                         | продольные трещины                                                    |
| 41      | СКЦ               | 1982          | 2010                   | незначительное                         | сетка продольных трещин                                               |
| 51      | СКЦ               | 1982          | 2016                   | значительное                           | продольные трещины, сетка продольных трещин                           |
| 61      | СКЦ               | 1982          | 2004                   | значительное                           | продольные трещины, сетка продольных трещин                           |
| 65      | СКЦ               | 1982          | 2004                   | значительное                           | продольные трещины                                                    |
| 67      | СКЦ               | 1982          | 14.06.2019             | без снижения                           | продольные трещины                                                    |
| 71      | СКЦ               | 1982          | 2004                   | незначительное                         | продольные трещины, сетка продольных трещин                           |
| 77      | СКЦ               | 1982          | 14.06.2019             | без снижения                           | сетка продольных трещин                                               |
| 79      | СКЦ               | 1982          | 14.06.2019             | без снижения                           | сетка продольных трещин                                               |
| 83      | СКЦ               | 1982          | 2008                   | незначительное                         | сетка продольных трещин                                               |
| 85      | СКЦ               | 1982          | 2004                   | значительное                           | местный выкол бетона, сетка продольных трещин                         |

Из таблицы видно, что 63 % опор установлены в 1982 году. У 20 % опор первые дефекты выявились в 2004 году, у 21 % опор – в 2010 году.

Из диаграммы видно, что большая часть (64 %) дефектных опор без снижения несущей способности, 17 % – с незначительным снижением, 18 % – с значительным снижением и 1 % – с предельным.

Продольные трещины и сетка продольных трещин являются основными дефектами, около 95 % опор, такой дефект, как недопустимый наклон, встречается у 7 % опор.



**Рис. 4.** Дефектные опоры контактной сети по видам снижения несущей способности

К основным мероприятиям по обновлению парка опор относятся замена дефектных железобетонных опор контактной сети и выправление опор с наклоном.

Также можно предложить замену устаревших железобетонных опор на металлические. Для этого есть вполне объективные причины. Основное преимущество заключается в том, что скорость установки металлических опор в 3-4 раза выше, чем аналогичных железобетонных за счет значительно меньшего веса и высокой степени заводской готовности. В процессе монтажа не требуется использование дорогостоящих подъемных кранов и другой спецтехники. Это позволяет более оперативно и экономно производить замену опор при их повреждении. Резко сокращаются трудозатраты и сроки монтажа линий контактной сети. Кроме того, для металлических опор практически отсутствует проблема утилизации, что также выгодно отличает их от железобетонных аналогов.

#### *Библиографический список*

1. Кондратьев, Юрий Владимирович. Современное состояние и перспективы развития опорного хозяйства железных дорог в РФ / Ю. В. Кондратьев, И. А. Кремлев, И. А. Терёхин. – Текст : непосредственный // Технические науки – от теории к практике : сборник статей по материалам XXXI международной научно-практической конференции. – Новосибирск : Издательство «СибАК», 2014. – С. 53–58.

2. Демина, Л. С. Повышение эффективности эксплуатации железобетонных опор контактной сети электрифицированных железных дорог прогнозированием их остаточного ресурса: специальность 05.22.07 «По-

движной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Демина Людмила Сергеевна; ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения». – Хабаровск, 2021. – 19 с. – Текст : непосредственный

3. Гилев, А. А. Анализ надёжности устройств контактной сети Абаканской дистанции электроснабжения / А. А. Гилев, З. М. Захаров. – Текст : непосредственный // Научные достижения 2023: естественные, точные и технические науки : сборник материалов XLII международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 11 декабря 2023 года. – Москва : НИЦ «Империя», 2023. – С. 116–123.

**РАЗДЕЛ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК И УПРАВЛЕНИЕ  
ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ. ГРУЗОВАЯ  
И КОММЕРЧЕСКАЯ РАБОТА**

**А. С. Акельев**

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

**МЕСТО ГРУЗОВЫХ ДВОРОВ В СТРУКТУРЕ ПЕРЕВОЗОК  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*Работа посвящена изучению грузовых дворов. Проводится анализ терминальной инфраструктуры России и её тенденции развития с учётом изменяющихся грузопотоков и технологических методов оптимизации распределения грузовой работы на загруженных участках.*

*Ключевые слова: грузовой двор, терминальная инфраструктура, грузовая работа, погрузочно-разгрузочные операции, терминал-демпфер.*

Глобальная перестройка цепей поставок, связанная с изменениями во внешнеторговых отношениях России оказало существенное влияние на терминально-логистическую инфраструктуру страны. Направления, на которых грузопоток показал рост наблюдается нехватка инфраструктурных объектов для пропуска подвижного состава и обработки потока груза. Исходя из этого тема терминальной инфраструктуры различных видов транспорта, в том числе железнодорожного, является актуальной и требует совершенствования технологий использования объектов, на которых производится грузовая работа [1].

Терминально-логистическая инфраструктура железнодорожного транспорта представлена сетью терминалов, имеющих название грузовые дворы, основная задача которых обеспечивать продвижение грузопотока обеспечивая доступность железнодорожного транспорта для перевозок. Грузовые дворы подразделяются в зависимости от комплекса оказываемых на них услуг на: терминально-логистические центры, грузовые терминалы, малодетальные грузовые площадки.

В литературе понятие грузовой двор часто заменяется на грузовой терминал, складской комплекс, терминальная инфраструктура, логистический терминал, перевалочный комплекс, а иногда подменяется терминалом склад.

Грузовой двор имеет в своей структуре, как один из элементов, склад и во многом характер функционирования терминала зависит от параметров функционирования складской инфраструктуры, но все же понятие грузовой двор имеет более широкое понятие, чем склад. Состав элементов грузового терминала можно разделить на три группы: объекты грузовой работы, составные части грузового фронта, вспомогательная инфраструктура. Состав элементов грузового терминала представлен в Таблице и на рис. 1.

Основная задача грузового двора обеспечить взаимодействие различных видов транспорта. Из этого следует закономерность его размещения, в основном это районы крупных железнодорожных станций с развитыми автомобильными подъездами и порты. Для грузовладельцев, не имеющих собственных путей необщего пользования, грузовые терминалы вызывают цепочки поставки с использованием железнодорожного транспорта. При этом целью применения грузового терминала не является хранение груза. Вместо этого наличие терминальной инфраструктуры в цепи поставки позволяет трансформировать параметры грузопотока до подходящих для транспорта отправок [2].

*Таблица*

**Состав элементов грузового терминала**

| Группа                         | Наименование элемента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Объекты грузовой работы        | <ul style="list-style-type: none"><li>- крытые склады</li><li>- открытые площадки</li><li>- таможенный пост</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Грузовой фронт                 | <ul style="list-style-type: none"><li>- ЖД пути</li><li>- автопроезды</li><li>- эстакады</li><li>- места погрузки авто</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Вспомогательная инфраструктура | <ul style="list-style-type: none"><li>- административные здания</li><li>- здания хозяйственного назначения</li><li>- гаражи</li><li>- станции технического обслуживания</li><li>- автозаправочные станции</li><li>- контрольно-пропускной пункт (КПП)</li><li>- ограждение территории</li><li>- сооружения и устройства подвода коммуникаций</li><li>- устройства водоотвода</li><li>- инженерные конструкции систем освещения</li><li>- системы охраны и сигнализации</li><li>- стоянки авто</li></ul> |



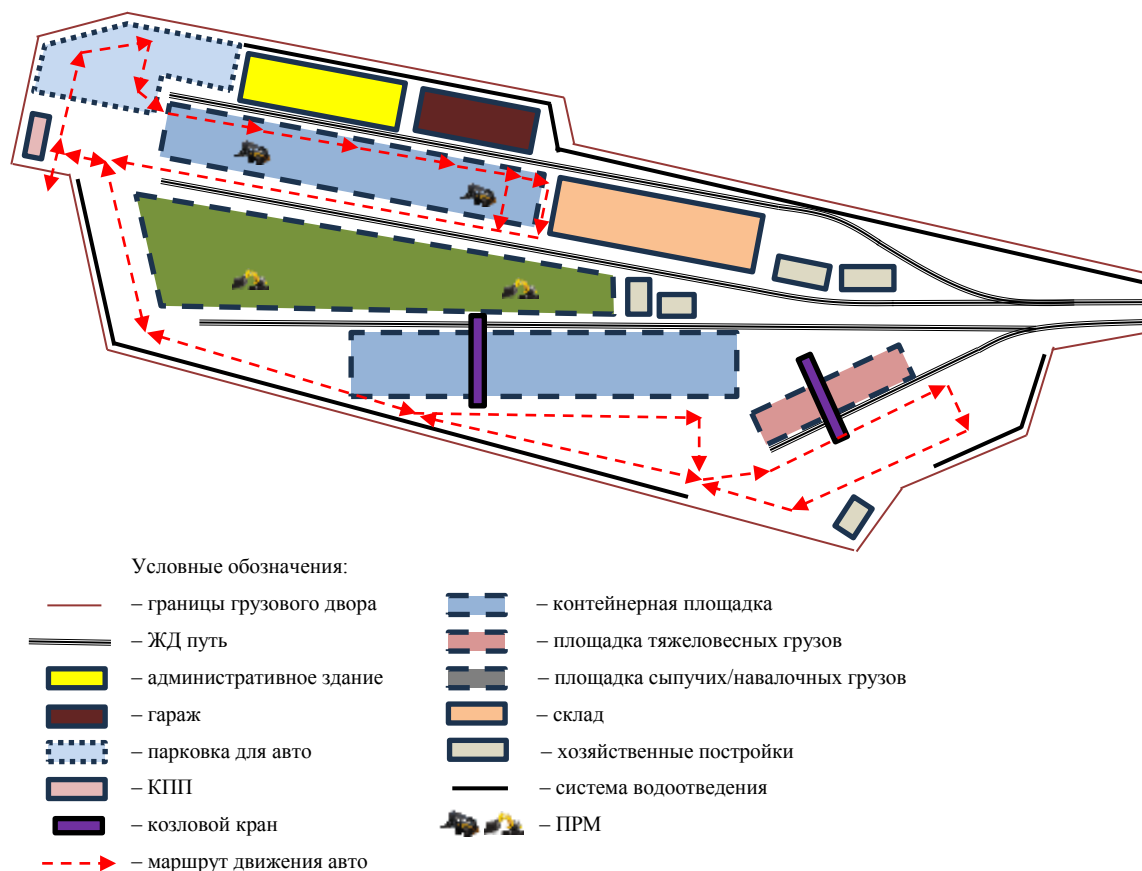


**Рис. 1.** Вариант планировки грузового двора для переработки различных видов груза

Грузовые терминалы являются неотъемлемой частью транспортного процесса. Особенно для железнодорожного транспорта, для которого отсутствие на территории специализированной терминально-инфраструктуры ставит вопрос целесообразности и возможности использования железнодорожного транспорта. Для передачи грузопотока с или на другие виды транспорта используется железнодорожная терминальная инфраструктура, принадлежавшая грузовладельцам, частным компаниям, или ОАО «РЖД». К инфраструктуре относятся пути необщего пользования (ПНП), грузовые дворы МЧ (ГД МЧ), частные терминалы, или терминально-логистические центры (ТЛЦ), порты морского и речного транспорта [3]. Типовая схема возможных маршрутов с использованием железнодорожного транспорта представлена на рис. 2.

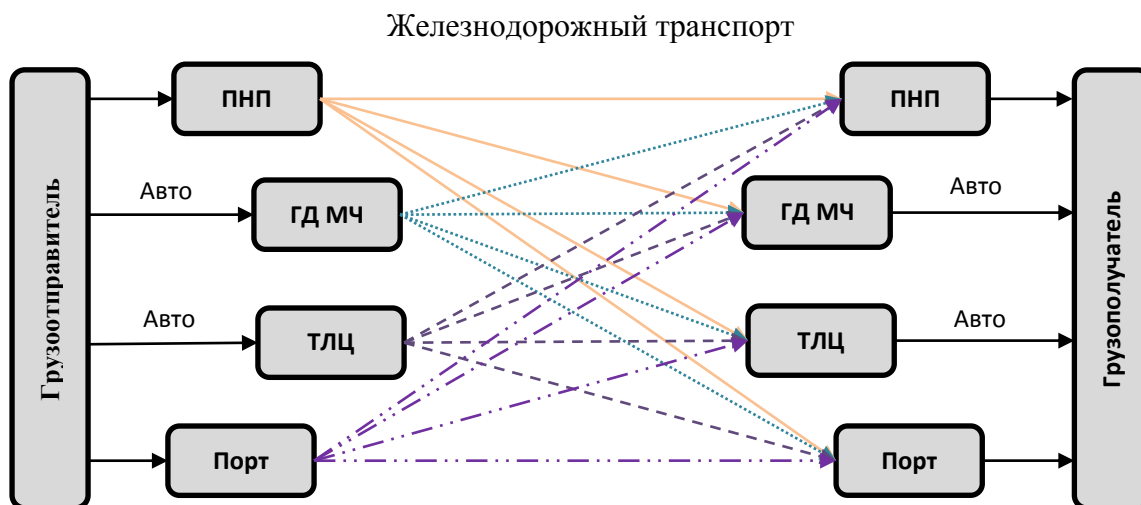


**Рис. 2.** Типовая схема возможных железнодорожных маршрутов

Представленная на рис. 2 инфраструктура имеет свои особенности и используется для реализации различных цепей поставки. Так организация погрузочно-выгрузочных работ на путях необщего пользования является самым экономически выгодным вариантом перевозки железнодорожным транспортом при сравнении затрат на транспортировку, так как отсутствуют дополнительные операции по перегрузке и использованию автомобильного транспорта. В данном случае возникают затраты на содержание путей необщего пользования, складских площадей и погрузо-разгрузочных механизмов. Пути необщего пользования используют компании с большими грузооборотами однородной продукции, в основном это компании производители сырья, химической и топливно-энергетической отрасли [4].

Использование грузовых дворов или частных терминально-логистических центров целесообразно при отсутствии у грузовладельцев доступных путей необщего пользования. Грузовые дворы применяются для передачи грузопотока на или с железнодорожного транспорта без изменения параметров переданной партии. На терминально-логистическом центре помимо передачи грузопотоков между видами транспорта может осуществляться работа по изменению параметров партии и другие услуги продвижения грузопотока. К таким услугам может относиться: подвоз и развоз груза, оформление документации, предоставление транспортной тары, обслуживание и ремонт транспортных средств и транспортного оборудования, сортировка, упаковка и маркировка товаров, предпродажная подготовка, несложная сборка изделий и т.д. [5].

Грузовые терминалы на железнодорожном транспорте имеют ряд особенностей, к которым относятся относительно небольшие сроки хранения и связанная с этим высокая оборачиваемость грузопотоков, при этом через терминал проходит большой объем груза широкого перечня номенклатуры. Данные особенности делают необходимым построение гибкого технологического процесса организации работы грузового терминала для обеспечения беспрепятственной работы железнодорожного транспорта, минимизации простоя подвижного состава на станции в ожидании выгрузки, или погрузки, увеличение оборачиваемости вагонов, и удовлетворение потребности клиентов в получении грузов точно в срок [6].

Нехватка перерабатывающей способности грузовых дворов приводит к недоступности железнодорожного транспорта для грузоотправителей, то есть компания ОАО «РЖД» получает негативный эффект не только от недополученного дохода от отсутствия предоставленных терминально-логистических услуг, но и от перевозочного процесса, который составляет около 95 % от общей стоимости доставки [7]. Поэтому предоставление альтернативных мест грузовой работы, путем организации терминала-демпфера для грузового двора является возможным решением нехватки перерабатывающей способности терминальной инфраструктуры на загруженных направлениях.

Терминал-демпфер представляет собой инфраструктурный объект, который используется для организации на нем погрузочно-разгрузочных операций и при необходимости подготовки мест хранения на период превышения объема грузопотока, проходящего через грузовой двор его техническим возможностям. Такой метод временного повышения перерабатывающей способности терминальной инфраструктуры должен сократить издержки, связанные с простоем подвижного состава в ожидании грузовых операций и решить проблему невозможности немедленной модернизации грузового двора для соответствия его технических характеристик величине перспективных грузопотоков.

#### *Библиографический список*

1. Бардаль, А. Б. Государственная поддержка развития транспорта на современном этапе: влияние на транспортный комплекс Дальнего Востока / А. Б. Бардаль. – Текст : непосредственный // Власть и управление на Востоке России. – 2024. – № 2 (107). – С. 26–35. – DOI 10.22394/1818-4049-2024-107-2-26-35. – EDN QIOKLA.
2. Король, Р. Г. Моделирование пропускной способности пограничных переходов транспортного коридора «Приморье-1» в условиях уве-

личения грузопотока / Р. Г. Король, А. С. Акельев – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2023. – № 2 (54). – С. 97–106. – EDN NSMTPS.

3. Покровская, О. Д. Логистика терминалов: перспективное направление логистики / О. Д. Покровская, Е. К. Коровяковский. – Текст : непосредственный // Известия ПГУПС. – 2015. – № 3 (44). – С. 155–164. – EDN UNRRIT

4. Пугачев, И. Н. Развитие транспортно-логистического комплекса Дальневосточного региона России / И. Н. Пугачев, Р. Г. Король, Н. С. Нестерова. – Текст : непосредственный // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2022. – № 4 (33). – С. 25–34. – EDN FANMES.

5. Акельев, А. С. Оптимизация распределения грузопотоков на полигоне ДВЖД в условиях переориентации грузов на «восточное» направление / А. С. Акельев. – Текст : непосредственный // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2023. – Том 1. – С. 82–87. – EDN PJTXSF.

6. Вакуленко, С. П. Грузовая деревня как новый этап развития ТЛЦ / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков, Д. Ю. Роменский [и др.]. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 10. – С. 4–9. – EDN UKQIMT.

7. «Доступность – наше ключевое отличие». Алексей Бельский – о собственных терминалах ОАО РЖД. – URL : <https://www.kommersant.ru/doc/6312647> (дата обращения: 25.10.2024). – Текст : электронный.

**А. Ю. Бардушко, Е. Ю. Пузина**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОРОДНОГО СООБЩЕНИЯ ЗА СЧЁТ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА И СНИЖЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ**

*Проблема низкой прибыльности пригородных перевозок в регионах России стоит достаточно остро, учитывая всё нарастающую конкурентность автомобильного транспорта, даже несмотря на стоимость проезда и льгот пенсионерам, школьникам и студентам.*

*В работе были рассмотрены два пути развития туризма в Иркутске и Иркутской области, проведена оценка актуальности и экономиче-*

*ского эффекта использования симбиоза двух путей решения проблемы для выявления варианта с наибольшим влиянием на развитие транспорта пригородного сообщения.*

*Ключевые слова: пригородные перевозки, туризм, экология.*

Одной из отраслей экономики, активно развивающейся в Иркутске и Иркутской области, является внутренний туризм. Основой туристского потенциала города Иркутска и Иркутской области является озеро Байкал, природные красоты которого привлекают туристов в этот регион. Один из самых популярных видов туризма на Байкале – это экотуризм. Теплые бухты, красивейшие природные ландшафты, живописные тропы – вот чем действительно богата Иркутская область, здесь сосредоточено 7 % российских особо охраняемых природных территорий: Прибайкальский национальный парк, Байкало-Ленский и Витимский заповедники, 16 заказников федерального, регионального и местного значения, ботанический сад, 77 памятников природы [1].

Для выявления наиболее эффективного пути развития туризма, рассмотрим сопутствующие для этого факторы. В качестве приоритетных выделим необходимость формирования современной туристской инфраструктуры, в частности, развитие в сфере транспорта и строительство новых комфортабельных мест пребывания туристов [2].

Однако на темпы развития туризма и, как следствие, развития пригородных перевозок, оказывает значительное влияние ряд сдерживающих факторов. Из них наибольший вклад в замедление развития туризма вносят экологический и инфраструктурный факторы. Экологический проявляется в низкой устойчивости природных зон Прибайкалья к рекреационным нагрузкам, то есть степень непосредственного влияния отдыхающих людей, их транспортных средств, строительства временных и вторых (дачных) жилищ и других сооружений на природные комплексы или рекреационные объекты [3]. Инфраструктурный фактор проявляется в низкой комфортности жилья и слабом развитии сферы коммунальных услуг, средств связи и транспортной сферы [2].

В качестве одного из путей снижения влияния данных факторов рассмотрено целенаправленное развитие пешего туризма. Данный вид туризма позволяет значительно снизить негативное влияние на окружающую среду. Исследования природной территории Байкала позволили выработать рекомендации для Правил регулирования рекреационных нагрузок на побережье озера. В частности, на основе оценки текущего экологического состояния прибрежных зон предлагается установить ограничения на пребывание людей при достижении третьей пороговой



стадии деградации. Для уменьшения рекреационной нагрузки и защиты прибрежных лесных экосистем рекомендуется запретить движение и стоянку транспортных средств (за исключением специализированного транспорта) в рыбоохранных и водоохранных зонах, разрешив передвижение только по дорогам и стоянку в специально отведенных местах с твердым покрытием [4].

Данный путь развития туризма будет оказывать большое влияние на спрос железнодорожного транспорта пригородного сообщения и, как следствие, на увеличение пассажиропотока. Являясь, безусловно, более экологичным видом транспорта, электропоезда обладают рядом преимуществ, по сравнению с автомобильным транспортом, которые представлены на Рисунке [8].

Уровни косвенных затрат по рельсовому и автомобильному транспорту

| Вид затрат          | Железнодорожный транспорт, % | Автомобильный транспорт, % |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| Прямые затраты      | 100                          | 120                        |
| Несчастные случаи   | 100                          | 900                        |
| Потребление энергии | 100                          | 1000                       |
| Загрязнение воздуха | 100                          | 250                        |
| Шум                 | 100                          | 400                        |

**Рисунок.** Сравнение железнодорожного и автомобильного транспорта по уровню косвенных затрат

Кроме того, обоснованность развития данного вида туризма можно подтвердить повышением занятости населения, проживающем вблизи маршрутов, из-за увеличения спроса на приобретение туристами товаров и услуг в этой местности, что также положительно скажется на уровне жизни граждан.

Ещё одним способом развития туризма в Иркутске является развитие «цивилизованного» туризма, которое можно организовать за счёт строительства апарт-отелей в городе.

В Москве и Санкт-Петербурге уже больше 10 лет развивается такое направление, как сдача в аренду апартаментов – если говорить простым языком, это небольшие квартиры с гостиничным обслуживанием. В Иркутске планируется строительство подобного отеля. Апартаменты будут представлять собой два 14-этажных здания, на первом этаже расположится ресторан, также будут предусмотрены баня, тренажерный зал для жителей, открытая терраса для мероприятий с видом на город, смарт-офисы, комьюнити-центр. Стоимость аренды будет не сильно выше гостиничных номеров: номер площадью 55 квадратных метров че-

рез 3 года будет стоить 10-11 тысяч рублей в сутки, при этом гарантируется уровень обслуживания 4 звезды, маленькие же номера будут от 5 тысяч рублей. А учитывая, что размещаться отель будет в непосредственной близости от аэропорта, а также отсутствие альтернативы с таким же высоким уровнем комфорта, отель должен будет пользоваться спросом. Стоит отметить, что апартаменты можно будет оформить в собственность, продать, сдать, подарить. А пассивный доход от апартамента, купленного за 8,5 миллиона рублей, может составить 80 тысяч рублей в месяц [5]. Соответственно, срок окупаемости такого проекта при стабильной стоимости аренды может достигнуть 8.8 года, однако, учитывая регулярный рост цен в связи с инфляцией, расчетный срок окупаемости может существенно сократиться.

Экономический эффект от применения вышеприведенных направлений развития туризма можно рассчитать, опираясь на статистику туристического потока в Иркутске за последние годы. В 2023 году туристический поток в Иркутске вырос на 30 % по сравнению с 2022-м и составил 1,8 млн человек. За первое полугодие 2024-го также зафиксирован рост на 26 % по сравнению с предыдущим периодом. При этом увеличились траты туристов и количество дней их пребывания [6, 7]. Если принять тот факт, что прирост за год будет в среднем составлять даже 20 %, то есть составит уже к концу текущего года около 2,2 млн человек, а также то, что как минимум половина приезжих туристов будет пользоваться услугами апарт-отелей, то, ссылаясь на стоимость номеров, в год туристы повлияют на увеличение годового валового регионального продукта (ВРП), приобретая услуги отелей. Следовательно, если при расчете принять количество туристов, которые воспользуются услугами апарт-отелей, равное 1.1 млн человек, а также то, что в среднем номера арендуются на 2-3 дня, то получим прирост ВРП в 24 млрд рублей за один год. Также, учитывая тенденцию прироста количества туристов, можно ожидать увеличения этой суммы на 10–15 % в последующие годы.

Также, оценивая положительное влияние притока туристов и применение совместно сразу двух путей развития туризма, можно сделать вывод о том, что увеличение количества приезжих на отдых приведет к увеличению пассажиропотока пригородного сообщения, так как данный вид транспорта является более экологичным и финансово доступным, в сравнении с автомобильным, но так же позволяет без труда добраться до самых интересных и красивых мест региона, отправной точки различных пеших маршрутов и т.д. [8]; увеличение социальной занятости жителей города: вакансии обслуживающего персонала отеля, а также проводников и машинистов электропоездов пригородного сообщения

будут крайне востребованы в условиях большого спроса на туристические услуги.

По итогам проведенного исследования можно сделать вывод, что использование совместно двух способов развития туризма приведёт к ощутимому увеличению спроса на перевозки пригородного сообщения и окажет большое влияние на экономическое развитие как самого региона, так и пассажирской компании в частности.

#### *Библиографический список*

1. Редакция ООО «МИЦ Известия». – URL : <https://iz.ru/1394287/2022-09-12/v-rst-otcenili-vliianie-sanktcii-na-razvitie-vnutrennego-turizma> (дата обращения: 10.10.2024 г.). – Текст : электронный.

2. Винокуров, М. А. Экономика Иркутской области. В 4-х томах / М. А. Винокуров, А. П. Суходолов. – Иркутск. – Текст : непосредственный.

3. Реймерс, Н. Ф. Природопользование : учебное пособие / Н. Ф. Реймерс. – Москва : Мысль, 1990. – 132 с. – Текст : непосредственный.

4. Будаева, Д. Г. Научно-методические основы разработки правил организации туризма и отдыха в центральной экологической зоне Байкальской природной территории Республики Бурятия / Д. Г. Будаева, О. В. Евстропьева, А. Н. Бешенцев, Э. Д. Санжеев, Ж. Б. Алымбаева, Э. А. Батоцыренов, М. А. Жарникова, Т. А. Хребтова. – Текст : непосредственный // Географический вестник = Geographical bulletin. – 2023. – № 2 (65). – С. 154–168.

5. Информационный портал ircity.ru. – URL : [https://ircity.ru/text/realty/2024/09/27/74079074/?utm\\_source=newsletter&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=pochta\\_daily&utm\\_content=2024-09-27&from=lena-rus05@mail.ru&utm\\_term=title\\_1](https://ircity.ru/text/realty/2024/09/27/74079074/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=pochta_daily&utm_content=2024-09-27&from=lena-rus05@mail.ru&utm_term=title_1) (дата обращения: 12.10.2024 г.). – Текст : электронный.

6. Информационный портал sia.ru. – URL : [https://sia.ru/?section=484&action=show\\_news&id=16806302](https://sia.ru/?section=484&action=show_news&id=16806302) (дата обращения: 11.10.2024 г.). – Текст : электронный.

7. Информационный портал irk.ru. – URL : <https://www.irk.ru/news/20240413/tourist/> (дата обращения 15.10.2024 г.) – Текст : электронный.

8. Дранченко, Ю. Н. Организация пассажирских железнодорожных перевозок в мегаполисной системе «город-пригород»: автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук / Юрий Николаевич Дранченко. – Москва, 2019. – 48 с. – Текст : непосредственный.

**Е. И. Белова, А. П. Глухов, С. В. Корниенко**  
*Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

**А. А. Глухов**  
*АО «Научно-производственное  
объединение «Критические информационные системы»,  
г. Москва, Россия*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ АКТИВОВ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*В статье рассмотрен вариант построения методики, отражающей взаимосвязи между показателями информационной безопасности информационных активов пассажирских перевозок железнодорожного транспорта, в основе которой лежит иерархическая нечётко-продукционная модель активов. Методика позволяет оценивать информационную безопасность АСУ пассажирских перевозок с использованием векторных показателей безопасности и возможностью проведения оценок безопасности на основе статистических данных и экспертных оценок.*

*Ключевые слова: информационная безопасность, иерархическая модель, критические процессы, система управления, компьютерные атаки, прогнозирование состояния.*

Безопасность информационной инфраструктуры (ИИ) железнодорожного транспорта (ЖТ) в современных условиях непрерывного повышения интенсивности, разнообразия и результативности компьютерных атак (КА), определяется эффективностью и адекватностью реализуемых мер защиты информации на всех уровнях ИИ.

Деятельность по обеспечению информационной безопасности (ИБ) должна быть направлена на поддержание основных бизнес-процессов организаций ЖТ. Рассмотрение процесса создания (совершенствования) системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ) организаций ЖТ как одного из обеспечивающих процессов, обеспечивающего основные процессы предприятия дает возможность разработки СОИБ в тесной взаимосвязи с проектированием других бизнес-процессов, что увеличит их интегрированность, гибкость, сбалансированность и управляемость.

Со стороны государственных регуляторов в области ИБ осуществляется переход от оценок воздействий компьютерных инцидентов (КИ) на такие свойства информации, как конфиденциальность, целостность и доступность, к оценкам влияния КИ на бизнес-процессы организаций [1, 2].

Реализация такого перехода требует разработки соответствующего методического аппарата, в том числе порядка (методики) оценивания информационной безопасности АСУ пассажирских перевозок (АСУ ПП) железнодорожного транспорта на уровне безопасности следующих информационных активов (ИА) пассажирских перевозок:

- бизнес-процессов (БП) ПП,
- функциональных задач (ФЗ), решаемых при обеспечении БП;
- программных модулей АСУ ПП, обеспечивающих решение этих задач,
- программно-технических комплексов АСУ ПП [3].

В работе [4] была предложена структура иерархии нечетко-продукционных правил оценивания ИБ ИА пассажирских перевозок с использованием которой была разработана иерархическая нечетко-продукционная модель [5] оценивания безопасности ИА ПП железнодорожного транспорта (см. Рисунок).

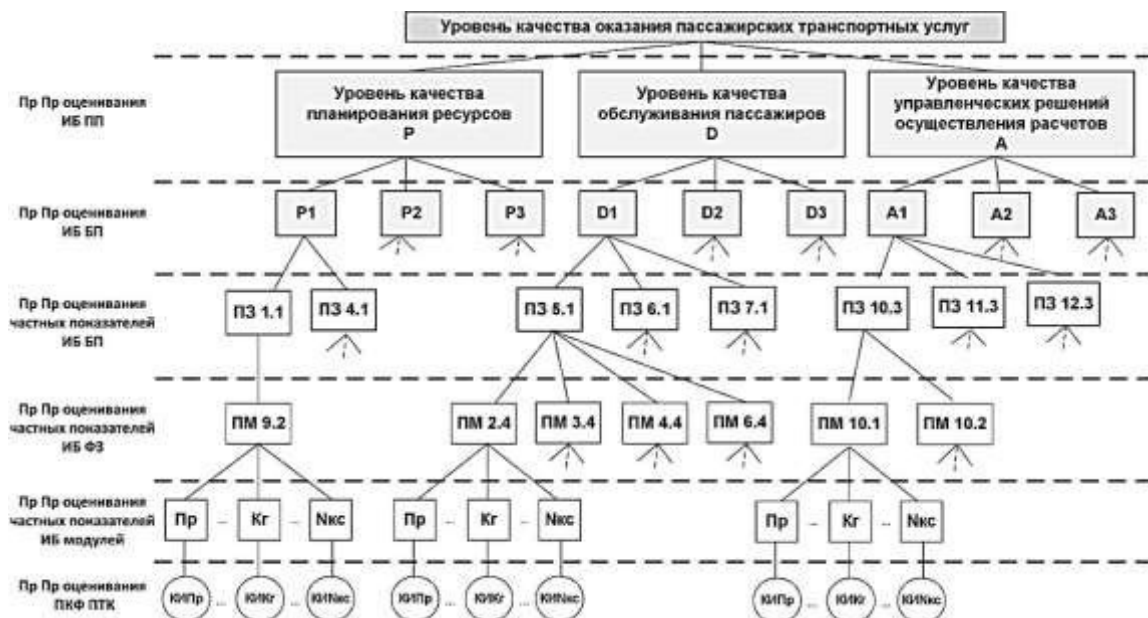


**Рисунок.** Иерархическая модель нечётко-продукционных правил оценивания ИБ пассажирских перевозок



Предлагается следующий порядок оценивания безопасности ИА ПП:

На Шаге 1 данного порядка производится формирование экспертной группы для определения нечетких множеств текущего состояния показателей информационной безопасности (ПБ) и формирования продукционных правил (ПрПр) для ПБ.

На Шаге 2 экспертами формируется исходный набор правил для каждого ПБ информационных активов пассажирских перевозок.

Шаг 3. Анализ и устранение противоречивых и избыточных правил.

Шаг 4. Формирование набора продукционных правил для каждого ПБ ПП иерархической модели.

Шаг 5. Определение важности ПБ в рамках введенных продукционных правил.

Шаг 6. Построение иерархической модели нечетко-продукционных правил оценивания ИБ пассажирских перевозок.

Шаг 7. Получение из систем мониторинга ИБ и ИТ-инфраструктуры статистических данных по компьютерным инцидентам (КИ), связанных с изменением (ухудшением) показателей качества функционирования программно-технических комплексов (ПКФ ПТК) АСУ ПП.

Шаг 8. Определение функции принадлежности для каждого частного показателя ИБ модулей ( $i = 1 \dots K_{\text{ПМ}}$ ) по каждому из ПКФ ПТК ( $j_{ij} = 1 \dots K_{\text{ПКФ}_{ij}}$ ).

Шаг 9. Введение векторной лингвистической переменной, описывающей совокупность состояний для каждого ПКФ ПТК в пределах  $[\text{ПКФ}_{\min_{ij}}; \text{ПКФ}_{\max_{ij}}]$ , обозначающей степень удовлетворения текущим состоянием информационной безопасности АСУ ПП. При пятиуровневом нечетком классификаторе «критическое» (К), «близкое к критическому» (БК), «допустимое» (Д), «близкое к безопасному» (ББ), «безопасное» (Б) рассматриваются пять соответствующих функций принадлежности  $\{\tilde{S}_{\text{кр}}^1, \tilde{S}_{\text{БК}}^2, \tilde{S}_{\text{Д}}^3, \tilde{S}_{\text{ББ}}^4, \tilde{S}_{\text{Б}}^5\}$ ,  $i=1..5$ .

Шаг 10. Определение на основе статистики КИ и влияния на ПКФ<sub>il</sub> нечёткого множества для текущего состояния ПКФ<sub>ij</sub>.

Шаг 11. Определение функции принадлежности текущего значения безопасности ( $\tilde{S}_0$ ) для ПКФ<sub>ij</sub>.

Шаг 12. Сравнение текущего значения ( $\tilde{S}_0$ ) ПКФ<sub>ij</sub> с каждым нечетким значением состояний  $\{\tilde{S}_{\text{кр}}^1, \tilde{S}_{\text{БК}}^2, \tilde{S}_{\text{Д}}^3, \tilde{S}_{\text{ББ}}^4, \tilde{S}_{\text{Б}}^5\}$ ,  $i=1..5$ . путем расчета степени включения текущего состояния  $S_0$  в состояние  $\tilde{S}_j^i \{\tilde{S}_{\text{кр}}^1, \tilde{S}_{\text{БК}}^2, \tilde{S}_{\text{Д}}^3, \tilde{S}_{\text{ББ}}^4, \tilde{S}_{\text{Б}}^5\}$  и проверки ее соответствия порогу включения ситуаций ( $0,6 \leq \rho \leq 1$ ), т.е.  $(\tilde{S}_0, \tilde{S}_i) \geq \rho_{\text{пор}}$ .

Шаг 13. Определяется принадлежность текущего состояния ( $\tilde{S}_0$ ) ПКФ<sub>ij</sub> одному из значений состояния безопасности ( $\tilde{S}_l$ ). Снятие «нечеткости» с определения уровня текущей ситуации снимается. Шаг 13 применяется для всех ПКФ ПТК.

Шаг 14. Переход к оцениванию состояния ИБ частных показателей ИБ модулей АСУ ПП (ПМ<sub>i</sub>) исходя из сформированных продукционных правил, где антецеденты – уровни ИБ ПКФ<sub>ij</sub>, а консеквенты – уровни ПМ<sub>i</sub>.

Шаг 15. Для всех правил R<sub>j</sub> из выходного множества производится расчет их комплексной оценки срабатывания C<sub>j</sub>.

Шаг 16. Выбирается правило R<sub>j</sub> с максимальной комплексной оценкой срабатывания C<sub>j</sub> = C<sub>jmax</sub>.

Шаг 17. Вывод о уровне ИБ частного показателя безопасности модуля АСУ ПП (ПМ<sub>i</sub>).

Шаг 18. Выполнение шагов 15 – 17 для определения уровней ИБ всех частных показателей модулей АСУ ПП (ПМ<sub>i</sub>).

Шаг 19. Переход к оцениванию состояния ИБ частных показателей функциональных задач АСУ ПП (ПЗ) исходя из сформированных продукционных правил, где антецеденты – уровни ИБ ПМ<sub>i</sub>, а консеквенты – уровни ПЗ.

Шаг 20. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ частного показателя функциональной задачи АСУ ПП.

Шаг 21. Вывод о уровне ИБ частного показателя безопасности функциональной задачи АСУ ПП.

Шаг 22. Выполнение шагов 20-21 для определения уровня ИБ всех частных показателей функциональных задач АСУ ПП (ПЗ).

Шаг 23. Переход к оцениванию состояния ИБ частных показателей бизнес-процессов АСУ ПП (P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,P<sub>3</sub>; D<sub>1</sub>,D<sub>2</sub>,D<sub>3</sub>; A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>) исходя из сформированных продукционных правил, где антецеденты – уровни ИБ ПЗ, а консеквент – уровни частных показателей ИБ бизнес-процессов (P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,P<sub>3</sub>; D<sub>1</sub>,D<sub>2</sub>,D<sub>3</sub>; A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>).

Шаг 24. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ частного показателя бизнес-процесса.

Шаг 25. Вывод о уровне ИБ частного показателя безопасности бизнес-процесса АСУ ПП.

Шаг 26. Выполнение шагов 24-25 для определения уровня ИБ всех частных показателей бизнес-процессов АСУ ПП (P<sub>1</sub>,P<sub>2</sub>,P<sub>3</sub>; D<sub>1</sub>,D<sub>2</sub>,D<sub>3</sub>; A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>,A<sub>3</sub>).

Шаг 27. Переход к оцениванию состояния ИБ показателей бизнес-процессов АСУ ПП (P; D; A) исходя из сформированных продукцион-

ных правил, где antecedentes – уровни ИБ  $P_1, P_2, P_3$ ;  $D_1, D_2, D_3$  и  $A_1, A_2, A_3$ , а консеквент – уровни ИБ показателей бизнес-процессов ( $P$ ;  $D$ ;  $A$ ).

Шаг 28. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ показателя бизнес-процесса.

Шаг 29. Вывод о уровне ИБ показателя безопасности бизнес-процесса АСУ ПП.

Шаг 30. Выполнение шагов 28–29 для определения уровней ИБ всех показателей бизнес-процессов АСУ ПП ( $P$ ;  $D$ ;  $A$ ).

Шаг 31. Переход к оцениванию состояния ИБ «Уровня качества оказания пассажирских транспортных услуг» АСУ ПП ( $K_{ПТУ}$ ) исходя из сформированных продукционных правил, где antecedentes – уровни ИБ  $P$ ;  $D$ ;  $A$ , а консеквент – уровень ИБ  $K_{ПТУ}$ .

Шаг 32. Выполнение шагов 15–16 для определения уровня ИБ  $K_{ПТУ}$ .

Шаг 33. Вывод о уровне ИБ «Качество предоставления пассажирских транспортных услуг» ( $K_{ПТУ}$ ) АСУ ПП.

Наиболее весомым фактором мероприятий по обеспечению безопасности АСУ ПП является исключение рисков наступления в системе АСУ ПП критической точки возможности эффективного обслуживания пассажиров.

Одним из важных факторов, влияющим на увеличение этих рисков, является увеличение компьютерных инцидентов на объекты АСУ ПП, влияющих на основные показатели качества функционирования ПТК, такие как производительность, коэффициент готовности и количество каналов самообслуживания.

Предлагаемый порядок оценивания информационной безопасности информационных активов пассажирских перевозок и нечетко определенных параметров может быть использован в системе управления информационной безопасностью железнодорожного транспорта.

#### *Библиографический список*

1. Глухов, А. П. Подход к оцениванию информационной безопасности автоматизированных систем управления пассажирскими перевозками железнодорожного транспорта / А. П. Глухов, А. А. Корниенко, Е. И. Белова. – Текст : непосредственный // Двойные технологии. – 2023. – № 1 (102). – С. 71–77.

2. Глухов, А. П. Оценивание информационной безопасности бизнес-процессов / А. П. Глухов, А. А. Корниенко, С. Е. Ададуров, Е. И. Белова. – Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 7. – С. 17–20.

3. Белова, Е. И. Модели и алгоритмы оценивания информационной безопасности автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками железнодорожного транспорта / Е. И. Белова. – Текст : непосредственный // Двойные технологии. – 2023. – № 2. – С. 48–54.

4. Белова, Е. И. Иерархическая нечетко-продукционная модель оценивания безопасности информационных активов пассажирских перевозок / Е. И. Белова, С. В. Корниенко, А. П. Глухов. – Текст : непосредственный // В сборнике : Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения : материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции. – Казань. – 2024. – С. 1240–1244.

5. Катасев, А. С. Нечётко-продукционная каскадная модель диагностики состояния сложного объекта / А. С. Катасев, Л. Ю. Емалетдинова. – Текст : непосредственный // Программные системы и вычислительные методы. – 2013. – № 1 (2). – С. 69–81.

**Ю. И. Белоголов**

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

### **ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УЧАСТКА БОЛЬШОЙ ЛУГ – СЛЮДЯНКА-1 С ЦЕЛЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ**

*В настоящее время железнодорожная отрасль находится на этапе завершения первой стадии цифровой трансформации в соответствии со стратегией, утверждённой в 2019 г. Подходы и методы решения различных задач отрасли также не остались в стороне и рассматриваются с применением современных программных продуктов мультиметодного имитационного моделирования, как например AnyLogic. На железнодорожном транспорте имитационное моделирование позволяет повысить эффективность при решении задач, связанных, например, с увеличением пропускной способности, и оценить принимаемое решение ещё до его реализации. В качестве объекта исследования в статье рассматривается участок Большой Луг – Слюдянка-1, строится имитационная модель и оцениваются возможности увеличения пропускной способности на перспективу развития.*

*Ключевые слова: AnyLogic, имитационное моделирование, пропускная способность, график движения поездов.*

В настоящее время одним из наиболее эффективным инструментом, который позволяет описать процессы различного уровня в сложных предметных областях, является имитационное моделирование. Anylogic – достаточно известный программный продукт, при помощи которого можно имитировать любые процессы, которые, в свою очередь дают возможность посмотреть, как влияют те или иные факторы и параметры, на работу модели в целом. Кроме того, существует возможность изучить влияние изменения параметров на эффективность функционирования моделируемой задачи.

Программное обеспечение AnyLogic имеет множество разнообразных специализированных библиотек функций, которые помогают имитировать процессы в различных сферах. Железнодорожная библиотека Railway – является ключевой из них и помогает эффективно имитировать и выполнять проверку в настоящем времени. С помощью указанной библиотеки достаточно просто имитировать функционирование различных бизнес-процессов на железном транспорте. Управление движением поездов, процесс перевозки, работа станций различной классности и вокзалов, управление инфраструктурой и другие объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта могут быть просто и с необходимой точностью промоделированы с помощью библиотеки железнодорожных функций Railway. Кроме того степень детализации, сложность индивидуальные настройки для объектов могут быть реализованы за счет гибкости системы настройки параметров объектов.

На рис. 1 показана модель станции в системе Anylogic. Основным недостатком «Железнодорожной библиотеки» является то, что она ориентирована на моделирование только одной работы поездов [1].

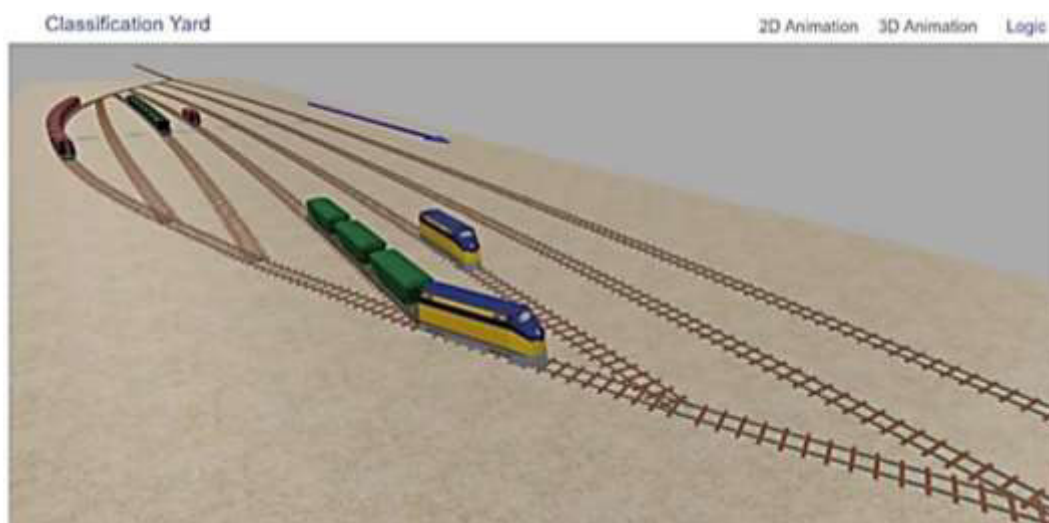


**Рис. 1.** Модель железнодорожной станции



Модель железнодорожного участка создана при помощи следующих объектов железнодорожной библиотеки:

а) TrainSource – позволяет смоделировать поезда и вагоны с индивидуальными параметрами;

б) TrainMoveTo – позволяет задавать параметры движущегося объекта (поезда). Кроме того, позволяет варьировать такими параметрами как скорость и торможение поезда перед тем, как он прибудет к пункту назначения, позволяя более точно смоделировать процесс движения.

в) TrainDispose – позволяет задавать следующие свойства для объектов: убирает поезда, которые покидают железнодорожный перегон.

г) Delay – отвечает за продолжительность операций в моделировании, например, остановок или погрузочно-выгрузочных операций, или прицепка-отцепка вагонов.

Создаваемые с помощью объектов «железнодорожной библиотеки» имитационные модели будут полезна для тестирования пропускной способности, а также для дальнейших мер по усовершенствованию. Огромное достоинство среды AnyLogic – это возможность имитации процессов не только как в реальном времени, но и обеспечение высокой скорости моделирования. Благодаря этому достоинству появляется возможность достаточно быстро и оперативно выявлять все факторы, влияющие на процесс и устранять «узкие места» в модели.

Для оптимизации перевозочного процесса на Восточно-Сибирской железной дороге была разработана имитационная модель железнодорожного горно-перевального участка Большой Луг – Слюдянка-1. Данный участок железной дороги состоит из двухпутных и трехпутных участков пути между станциями. Перегоны изображены графически при помощи специального инструмента «ж\д путь». С помощью инструмента масштабирования «scale» задаётся длина созданного пути. Элемент «масштаб» позволяет задать отношение размера объекта на анимации к его натуральному размеру. Масштаб определяется как соотношение пикселей анимации к физическим единицам длины.

На рис. 2 показан снимок с экрана при моделировании в имитационной системе Anylogic.

Из рисунков видно, что масштаб очень мелкий, тем более для демонстрации на экране. Поэтому в нашем случае примем наиболее оптимальный масштаб в соотношении 1:10 показанный на рис. 3.

На рис. 4 изображена имитационная модель поезда, движущегося на перегоне участка в системе Anylogic.



*Рис. 2.* Мелкомасштабное изображение участка Большой Луг – Слюдянка-1 в Anylogic

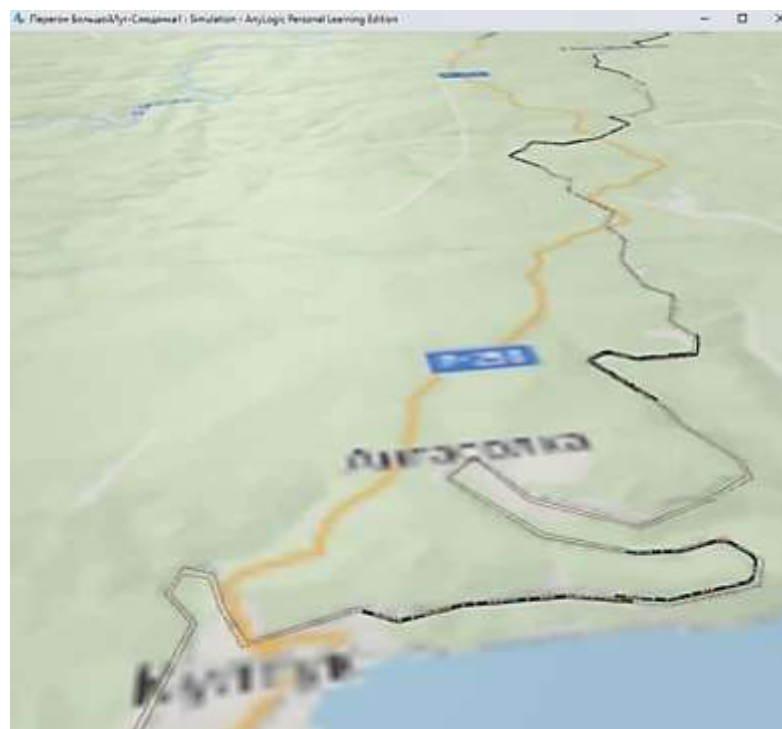


*Рис. 3.* Принятый масштаб участка в системе Anylogic (1:10)

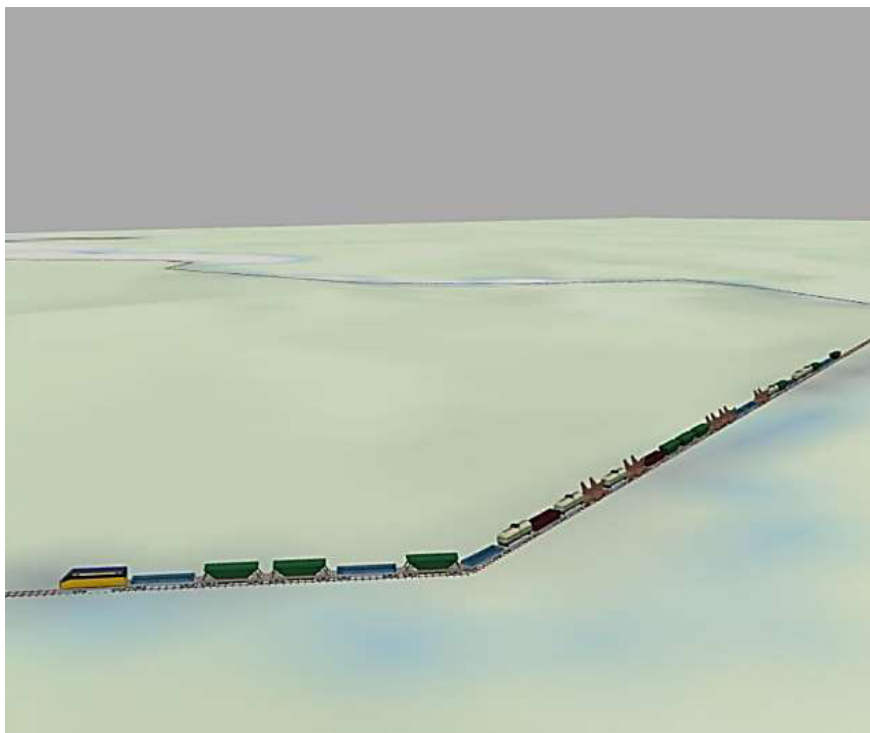


**Рис. 4.** 3D-модель поезда на перегоне участка в Anylogic

Следующим этапом является интеграция данных в модель. Поезда двигаются по расписанию, соответственно, необходимо включить это в модель. В данном случае есть два варианта. Это либо установка интервалов, либо задание моментов времени. Используя первый вариант, возможно проанализировать работу участка при различных системах интервального регулирования изменяя этот параметр.

Наглядно прослеживается тенденция увеличения наличия поездов на перегоне, при одновременном уменьшении интервалов между ними для увеличения пропускной способности. Также уделяется внимание точному определению местоположения поезда при движении по участку, что актуально в координатных системах регулирования движения поездов на перегонах с подвижными блок-участками.

На рис. 5 изображено окно симуляции модели с окном подсчета суточной пропускной способности.

Тестирование имитационной модели не выявило никаких ошибок, а значит, прошло успешно.

Предлагаемый график движения поездов, построенный на основании моделирования с внедрением современных систем интервального регулирования, представлен на рис. 6. Межпоездной интервал для поездов сокращается с 10 мин до 5 мин.



Рис. 5. Имитационная суточная пропускная способность участка Большой Луг – Слюдянка-1

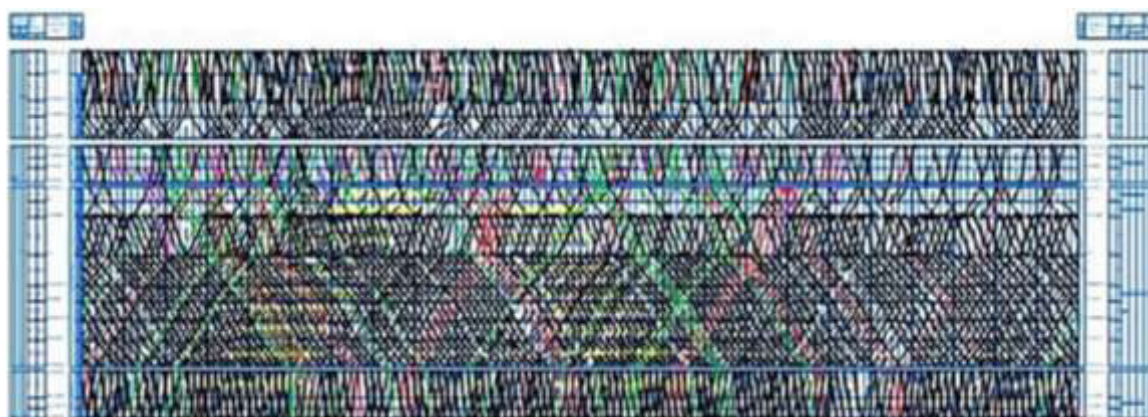


Рис. 6. График движения поездов после модернизации участка Большой Луг – Слюдянка-1



В ходе анализа был разработан график движения поездов после модернизации и внедрения системы интервального регулирования с допустимым интервалом следования поездов от 5 минут до 7 мин. Рассчитав показатели работы участка можно увидеть, что внедрение современных систем интервального регулирования позволит повысить пропускную способность на 50 %. Однако такое увеличение пропускной способности возможно при «идеализированных» условиях работы участка.

#### *Библиографический список*

1. Боровикова, М. С. Управление перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : учебник / М. С. Боровикова. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. – 552 с. – Текст : непосредственный.

2. Ковалёв, И. А. Управление эксплуатационной работой. Технологии и управление работой железнодорожных участков, направлений и полигонов сети железных дорог : практикум / И. А. Ковалёв, Е. Н. Тимухина. – Екатеринбург : УрГУПС, 2021. – 103 с. – Текст : непосредственный.

3. Поспелова, П. В. Комплекс технических и технологических средств, направленных на повышение пропускной способности железнодорожного транспорта / П. В. Поспелова. – Текст : непосредственный // Уральский научный вестник : электронный научный журнал. – 2023. – № 1.

4. Поспелова, П. В. Применение системы Anylogic для имитационного моделирования железнодорожных процессов / П. В. Поспелова. – Текст : непосредственный // Уральский научный вестник : электронный научный журнал. – 2023. – № 8.

5. Белькова, Ю. Д. Построение графика движения поездов для участка Слюдянка-1 – Улан-Удэ при внедрении АБТЦ-МШ / Ю. Д. Белькова, Ю. И. Белоголов. – Текст : непосредственный.

6. Белькова, Ю. Д. Современные системы интервального регулирования движения поездов / Ю. Д. Белькова, А. С. Симоченко, Ю. И. Белоголов. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – Иркутск : ИрГУПС. – 2021. – № 2 (12). – С. 97–102.

7. Добрынина, Д. С. Направления развития и совершенствования перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Доставка грузов «точно в срок» / Д. С. Добрынина, А. Н. Власова, А. А. Оленцевич, Ю. И. Белоголов. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2019. – № 1 (3). – С. 39–47.



**Е. А. Веласкес**

*Московский государственный технический  
университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия*

## **О ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ**

*Значимость организации процесса перевозки грузов трудно переоценить. Актуальность данного исследования заключается в проведённом сравнительном анализе технологий грузоперевозок. В работе рассмотрены основные классификационные группы грузовых перевозок, возможности и риски доставки грузов с помощью различных видов транспорта. Цель исследования – с применением метода сравнительного анализа оценить эффективность грузовых перевозок. Для достижения цели были рассмотрены практические примеры грузовых перевозок на примере моделей мультимодальных и унимодальных перевозок. Применение математических расчётов подтвердило эффективность модели мультимодальных перевозок грузов.*

*Ключевые слова: грузовые перевозки, транспортные услуги, мультимодальные, унимодальные перевозки, развитие транспортной инфраструктуры.*

В условиях современной стремительной жизни грузоперевозки стали одной из наиболее важных составляющих человеческой деятельности. Транспортировка грузов осуществляется как внутри страны, так и за её пределами, создавая при этом благоприятные условия для экономического роста. Совершенствование транспортных маршрутов и развитие логистической инфраструктуры позволяет снизить затраты на транспортировку товаров и ускорить процесс доставки, а также способствует созданию новых рабочих мест [1].

Существует несколько основных классификационных групп перевозок, разделяемых по следующим критериям:

- типу транспортируемых грузов: сухие грузы (строительные материалы);
- наливные грузы (жидкости, такие как нефть); хрупкие грузы (электроника, стекло); опасные грузы (вещества, представляющие опасность для здоровья или окружающей среды);
- по виду транспорта: автомобильные перевозки; железнодорожные перевозки; морские перевозки; воздушные перевозки;
- по модели взаимодействия участников: прямое взаимодействие между грузоотправителями и перевозчиками (Peer-to-Peer); взаимодей-

ствие между индивидуальными перевозчиками и бизнесами (Peer-to-Business); взаимодействие между компаниями (Business-to-Business);

- по географическому охвату: локальные перевозки (внутригородские или региональные доставки); национальные перевозки (доставка внутри одной страны); международные перевозки (доставка между разными странами);

- по уровню автоматизации: полностью автоматизированные системы (использование технологий для управления всеми процессами); частично автоматизированные системы (Комбинация автоматизации и ручного управления) [2];

- по типу бизнеса: крупные логистические компании (используют децентрализованные модели для оптимизации своих операций); малые и средние предприятия (используют платформу «Peer-to-Peer» для доставки) [3].

Для моделирования процесса перевозки необходимо определить, какие именно грузы перевозить, объём грузов, сроки доставки и требования к участникам перевозки. Стоит также определиться с выбором модели транспортировки. Всего существует 4 вида транспортной доставки, каждый из которых имеет свои положительные и отрицательные черты (табл. 1) [4].

*Таблица 1*

**Возможности и риски транспортной доставки по типу транспорта**

| Тип транспорта            | Риски                                                                                                                           | Возможности                                                                                 |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Автомобильные перевозки   | Непредсказуемость дорожной ситуации – погодные условия, пробки.<br>Небезопасность транспорта – аварии, кражи.                   | Доступность.<br>Высокий спрос на данный тип доставки.<br>Гибкость маршрутов.                |
| Железнодорожные перевозки | Зависимость от расписания.<br>Необходимость в смене другого вида транспорта.                                                    | Экономичность – часто доставка дешевле для объёмных грузов.                                 |
| Морские перевозки         | Длительное время доставки – не подходит для срочных грузов.<br>Влияние погодных условий.<br>Сложности с таможенным оформлением. | Возможность доставки товаров по всему миру.<br>Экономия на партии товаров с большим объёмом |
| Воздушные перевозки       | Высокая стоимость.<br>Ограничения по весу и объёму.                                                                             | Скорость доставки.<br>Возможность доставить груз быстро в труднодоступные регионы.          |

Анализируя типы доставки, можно определить модель транспортировки – это теоретически обоснованная структура или алгоритм деятельности по организации и управлению процессами транспортировки, обеспечивая этим безопасность и эффективность доставки. Например: мультимодальные, где груз доставляется с использованием как минимум двух видов транспортных средств или унимодальные, где груз отправляется от продавца к покупателю на одном и том же транспорте [5]. С учетом данных, представленных на Рисунке, можно сказать, что явным лидером грузооборота в первую половину 2024 года является автомобильный транспорт, а также весомая доля приходится на железнодорожный.

В настоящее время спрос на доставку грузов в другие страны значительно снизился. Воздушные и морские перевозки стали менее актуальными из-за санкций и происходящих событий в мире, но, несмотря на это, данные виды доставки до сих пор имеют спрос благодаря внутреннему грузообороту страны.

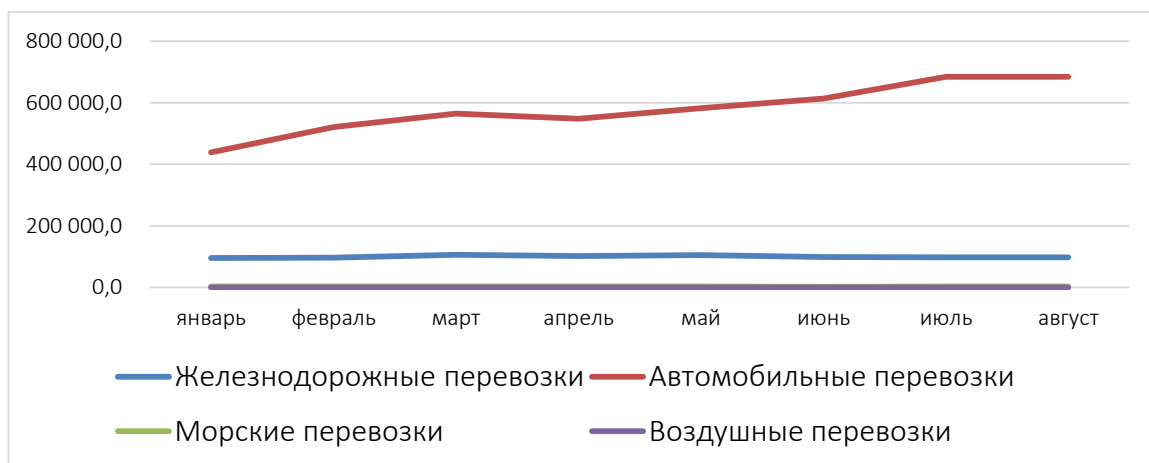


**Рисунок.** Грузооборот по видам транспорта в РФ за первую половину 2024 года (составлен автором на основе данных Росстат)

Рассмотрим пример мультимодальных перевозок, опираясь на данные табл. 1. Допустим, существует необходимость отправки из Москвы (Россия) в Шанхай (Китай) холодильник. Груз нужно будет привезти клиенту в течение недели. Для этого рассмотрим следующие варианты доставки.

- Отправляем груз самолётом до Владивостока. Далее делаем пересадку на водный транспорт или отправляем холодильник поездом. Так как груз тяжёлый, то, отправляя воздушной доставкой, следует понимать, что нужно будет заплатить за вес и объём. Конечно, стоимость играет важную роль, но если бы мы отправили груз изначально железно-

дорожным путём, то холодильник прибыл бы во Владивосток через 6 с половиной дней. Доставка самолётом будет длиться 8 часов, поэтому в данных условиях это выгоднее. Морская перевозка будет намного экономичнее, но при этом рискованной. Рейс от Владивостока до Шанхая в среднем занимает 6 дней. Если погодные условия будут благоприятными, то доставка будет в срок. Но в данной ситуации выгоднее всего брать железнодорожные перевозки, так как время пути будет длиться около 5 дней, но при этом можно быть уверенным, что ничего не помешает вовремя доставить груз до пункта назначения. Исходя из этого, благоприятными условиями доставки будет самолёт с пересадкой на железнодорожный транспорт.

Рассмотрим унимодальную модель транспортировки в таких же условиях.

Так как груз перевозится на одном и том же транспорте, то мы можем отправить груз либо воздушными перевозками, либо автомобильными. В самолёте холодильник проведёт около 9 часов, но стоимость при этом будет намного выше. Дорога на машине из Москвы в Шанхай занимает около 5 дней при условии, что скорость должна быть около 70 км/ч без остановок. В данной ситуации лучшим решением будет отправить груз самолётом, так как срок доставки слишком маленький для других видов транспорта (табл. 2).

*Таблица 2*

**Стоимость транспортной доставки  
в зависимости от модели транспортировки (составлена автором)**

| Модель транспортировки | Варианты доставки | Методы доставки           | Стоимость доставки (руб.) |
|------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| Мультимодальная        | 1                 | Воздушные перевозки       | 24 350                    |
|                        |                   | Морские перевозки         | 10 269                    |
|                        | 2                 | Воздушные перевозки       | 24 350                    |
|                        |                   | Железнодорожные перевозки | 19 620                    |
| Унимодальная           | 1                 | Автомобильные перевозки   | 20 208                    |
|                        | 2                 | Воздушные перевозки       | 57 871                    |

В итоге можно прийти к выводу, что мультимодальная модель больше подходит для перевозки грузов в другие страны и города, чем унимодальная. Данная модель более эффективна, благодаря тому, что имеет больше вариантов и способов доставки в труднодоступные места, что может снизить стоимость доставки, ускорить процесс и выбрать более благоприятный маршрут.

Децентрализованные грузоперевозки являются одним из самых надёжных способов, применяющихся для транспортировки грузов, так как осуществляются более своевременно, чем централизованные и учитывают нужды грузополучателей.

Децентрализованные перевозки – это форма организации перевозок, при которых грузополучатели самостоятельно создают заказ в транспортных предприятиях, организуя вывоз груза для своих предприятий без согласования очередности перевозок с грузоотправителями, и самостоятельно выполняют погрузочно-разгрузочные работы, имея для этого определённых грузчиков, экспедиторов и агентов по снабжению.

Централизованные перевозки – это форма организации перевозок, при которых транспортная компания осуществляет весь комплекс услуг по доставке товаров. Централизованные перевозки эффективны, если производится стабильный поток отправок грузов в основном больших объемов. Именно из-за этого их актуальность снижается [6].

Преимущества децентрализованных перевозок заключаются в следующем:

- все участники могут видеть информацию о грузах и их перемещении в реальном времени;
- снижаются риски мошенничества и потерь;
- участники могут быстро адаптироваться к изменениям спроса и предложения.

Если говорить о недостатках, то один из главных минусов данной системы грузоперевозок является тот факт, что организацией процесса занимаются грузополучатели, а не транспортные предприятия, поэтому увеличивается число грузчиков и экспедиторов, что приводит к увеличению непроизводительных затрат и повышению себестоимости перевозок [7].

Для того, чтобы децентрализованная перевозка грузов была более эффективной и адаптивной к современным требованиям рынка, необходимо учитывать специфические особенности:

- отсутствие центрального управляющего органа (данный факт даёт всем участникам взаимодействовать напрямую, что снижает зависимость от посредников);
- использование технологий блокчейн (блокчейн – это децентрализованная система хранения и передачи информации, при которой данные шифруются и объединяются в блоки, а затем сохраняются на компьютерах множества пользователей сети) [8]. Данная система обеспечивает прозрачность и безопасность сделок, фиксируя каждую транзакцию в неизменяемом реестре, которая находится в открытом доступе для всех участников;



- гибкость и адаптивность (так как спрос и предложения всегда меняются, то участники процесса могут подбирать для себя оптимальные способы доставки, выбирая подходящий маршрут);

- устойчивость к сбоям (децентрализованные системы менее подвержены сбоям, поскольку нет единой точки отказа. Это критически важный компонент, от исправности которого зависит работа всей системы. Отказ этого компонента приводит к отказу всей системы. Например, балансировка нагрузки направляет и контролирует услуги и ресурсы между заказчиками и исполнителями. Если это устройство выйдет из строя, клиент не получит доступ к сервису, а база данных не будет давать данные по запросу);

- участие разных типов участников (в системе могут участвовать как крупные компании, так и индивидуальные предприниматели или частные лица, что способствует разнообразию услуг) [9].

Децентрализованные перевозки являются самым быстрым, эффективным и надёжным способом по доставке заказа клиенту. Также получатель имеет контроль над процессом, напрямую соединяясь с отправителем без посредников. На данный момент такой способ является наиболее затратным, но благодаря тому, что децентрализованные перевозки находятся в постоянном развитии улучшения процессов, то главный минус постепенно теряет свою актуальность. Например, в настоящее время ведутся разработки компании «ДеерАего» о доставке грузов с помощью дронов, что напрямую связано со снижением затрат грузополучателя. Таким образом, данный способ является лучшим, чтобы доставить в кратчайшие сроки что угодно и куда угодно, учитывая при этом комфорт клиента и все его пожелания.

Подводя итог анализу о технологии перевозок грузов, следует отметить, что данная сфера деятельности находится в постоянном развитии. Учитывая современные возможности, многие компании применяют нейросети в оптимизации логистических процессов [10]. Данное преимущество помогает анализировать большие объёмы данных о трафике, погодных условиях и других факторах, чтобы подобрать наиболее эффективный маршрут, ускорить процесс доставки и снизить затраты как компании, так и клиентов. Так же с помощью использования искусственного интеллекта, грузополучатели могут отслеживать статус груза в реальном времени. Также необходимо отметить, что компании по доставке грузов совершенствуют системы и программный комплекс, предоставляя тем самым удобство и комфорт клиенту.

*Библиографический список*

1. Актуальность грузовых перевозок. RSS-канал. – Издательство: EktoTrans.ru. – URL : <https://www.ektotrans.ru/articles/30/aktualnost-gruzovyh-perevozok>. (дата обращения: 12.10.2024 г.). – Текст : электронный.
2. Степаненко, А. С. Проблемы внедрения цифровых продуктов в технологические процессы организации перевозок на воздушном транспорте / А. С. Степаненко, Е. В. Степаненко, Л. Х. Никифорова. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : сборник трудов X международной научно-практической конференции, Иркутск, 14–15 октября 2021 года. – Том 1. – Иркутск : Иркутский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», 2021. – С. 301–308. – EDN IMUZYJ.
3. Жуков, А. А., Жвакина, А. Д. – Издательство : Транспортная компания «АТА». – URL : <https://www.ata.su/about/stati/organizaciya-perevozok-gruzov/> (дата обращения: 01.10.2024 г.). – Текст : электронный.
4. Гаи Могилёв, Гродно, Брест. – Издательство : Логистика. Блог. – URL : <https://logistics.by/blog/dlya-perevozki-gruza-trebovalis-chetyrnadczat-avtomobilej>. (дата обращения: 01.10.2024 г.). – Текст : электронный.
5. Гуцевич, И. Е. – Издательство : Группа компаний «Севертранс». Блог. – URL : <https://www.severtrans.ru/blog/vidy-perevozok-unimodalnye-intermodalnye-multimodalnye-/?ysclid=mlxset6un7366910611>. (дата обращения: 01.10.2024 г.). – Текст : электронный.
6. Балашова, Анна Олеговна. – Издательство : ПЕНЗАПРЕСС. – URL : <https://www.penza-press.ru/lenta-novostey/33497/rjezhimy-gruzopjerjevozok>. (дата обращения: 01.10.2024 г.). – Текст : электронный.
7. Соловьёва, Екатерина Сергеевна. – Издательство : ООО «Мультиурок». – URL : <https://multiurok.ru/files/tsientralizovannyie-i-dietsientralizovannyie-pie-1.html>. (дата обращения: 01.10.2024 г.). – Текст : электронный.
8. Блог. Binance Academy. – URL : <https://academy.binance.com/ru/articles/what-is-blockchain-and-how-does-it-work>. (дата обращения: 01.10.2024 г.). – Текст : электронный.
9. Залукаева, Н. Ю. Транспортно-экспедиционная деятельность : учебное пособие / Н. Ю. Залукаева, В. А. Гавриков, А. А. Гуськов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – URL : <https://tstu.ru/book/elib1/pdf/2023/zalukaev.pdf>. – Текст : электронный.

10. Степаненко, А. С. Нейронные сети как инструмент прогнозирования в гражданской авиации / А. С. Степаненко, А. С. Щегольков. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации : сборник трудов XII международной научно-практической конференции, посвященной празднованию 100-летия отечественной гражданской авиации, Иркутск, 12–13 октября 2023 года. – Иркутск : Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2023. – С. 211–219. – EDN NAGDGT.

**Н. В. Власова, А. А. Никифорова, Л. Д. Мазур**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

### **УВЕЛИЧЕНИЕ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ РОССИЯ – КИТАЙ**

*В статье анализируется стремительное развитие и основные движущие силы роста контейнерных перевозок между Россией и Китаем. Данное направление и перевозка контейнеров железнодорожным транспортом становится всё более востребованным, поскольку обеспечивает эффективную и надёжную доставку грузов между двумя крупнейшими экономиками мира. Особое внимание уделяется перспективам дальнейшего развития этого сегмента и подчёркивается важность глубокого изучения китайско-российского торгового рынка для успешного сотрудничества между странами.*

*Ключевые слова: Китай, Россия, ЕАЭС, контейнерный перевозки, контейнеры, железнодорожные перевозки, морские перевозки.*

В сфере железнодорожного транспорта наблюдается стремительное развитие сотрудничества между Россией и Китаем при этом традиционные партнерские отношения между ними постепенно уходят в прошлое [1, с. 175]. Укрепление экономических связей между Россией и Китаем напрямую зависит от развития контейнерных перевозок. Ключевую роль играет строительство современных мультимодальных терминалов и логистических центров, что способствует увеличению объемов грузоперевозок и стимулирует развитие транзитных контейнерных железнодорожных маршрутов [1, с. 175].

Взаимная торговля между Китаем и ЕАЭС достигла рекордного уровня в 2019 году, составив 130,3 миллиарда долларов [1, с. 175].

«В 2023 году по данным Главного таможенного управления Китая торговый оборот России и КНР увеличился на 26,3 % до рекордных 240,11 миллиарда долларов» – пишет РБК. Рост товарооборота между Россией и КНР в течение 2015–2023 гг. изображен на рис. 1. Ключевую роль в этом сыграл рост экспорта следующих товарных групп:

1. Минеральные продукты;
2. Продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье;
3. Металлопродукция;
4. Древесина и целлюлозно-бумажные изделия [1, с. 175].

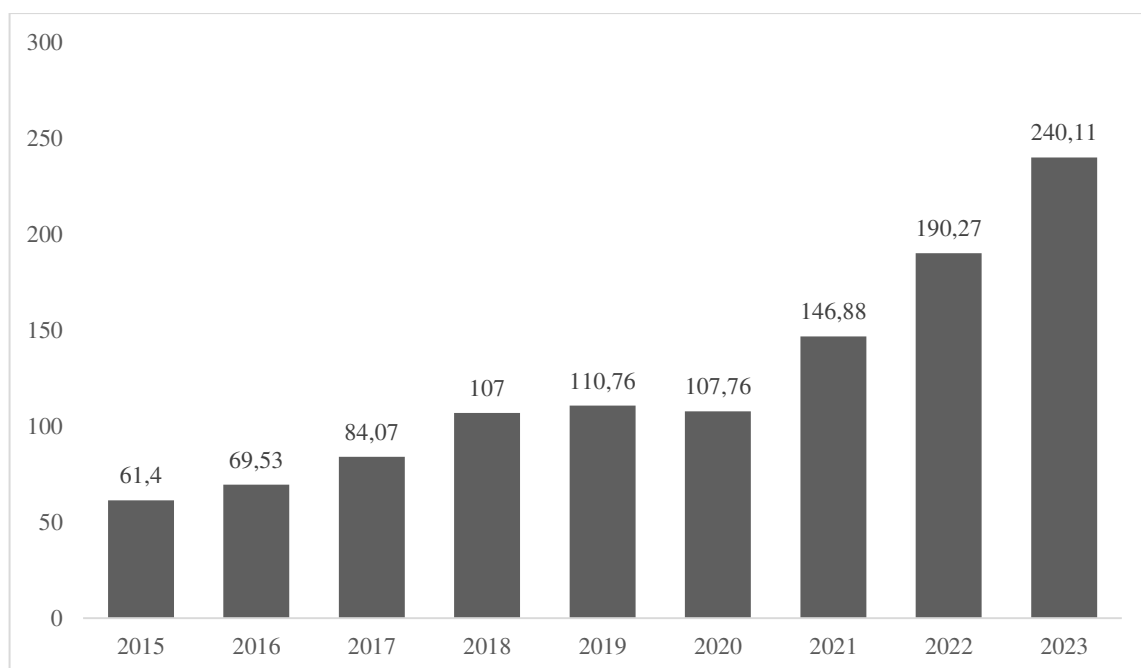


**Рис. 1.** Объем железнодорожных перевозок между Россией и Китаем в 2015–2023 гг., млрд долларов

Контейнерные перевозки стали самыми популярными на железнодорожном транспорте, благодаря своей высокой эффективности. Они позволяют сократить время и усилия, затрачиваемые на погрузку и разгрузку, оптимизировать пространство железнодорожных составов и обеспечить безопасную перевозку грузов [2, с. 157].

Для укрепления торгово-экономических связей между КНР и ЕАЭС в 2022 году Россия и Китай подписали Соглашение о признании уполномоченных экономических операторов (Далее – УЭО), это позволило импортировать и экспортировать товары напрямую предприятиями УЭО из двух стран, с упрощенными таможенными процедурами [5, с. 48].

В соответствии с Указом Президента РФ о национальных целях развития до 2024 года: «... увеличение объема транзитных перевозок контейнеров железнодорожным транспортом в четыре раза».

Во втором квартале 2024 года наблюдался существенный рост грузопотока между Китаем и Россией. Объем перевозок в 20-футовых контейнерах за этот период увеличился на 39,6 %. Основную часть грузооборота (80 %) составляют товары, направляющиеся в Россию и Белоруссию, а также обратно.

Во втором квартале Железнодорожные перевозки между Россией и Китаем текущего года выросли на 8 % (на 3,2 млн тонн) – до 42,5 млн тонн. При этом перевозки через китайские погранпереходы выросли на 21 %, а через морские порты – на 3 %. По итогам 2024 года РЖД ожидают увеличения перевозок с Китаем на 7 % – до 172,3 млн тонн.

В настоящее время маршрут Китай – Россия является лидером по объему грузоперевозок, где около 75 % от общего объема грузоперевозок приходится на контейнерные перевозки [5, с. 48].

Железнодорожное сообщение между Китаем и Россией активно развивается. Это происходит за счет расширения транспортных сетей и поддержания железнодорожных связей [7, с. 2]. Ключевое значение имеет проект Китая «Один пояс и один путь».

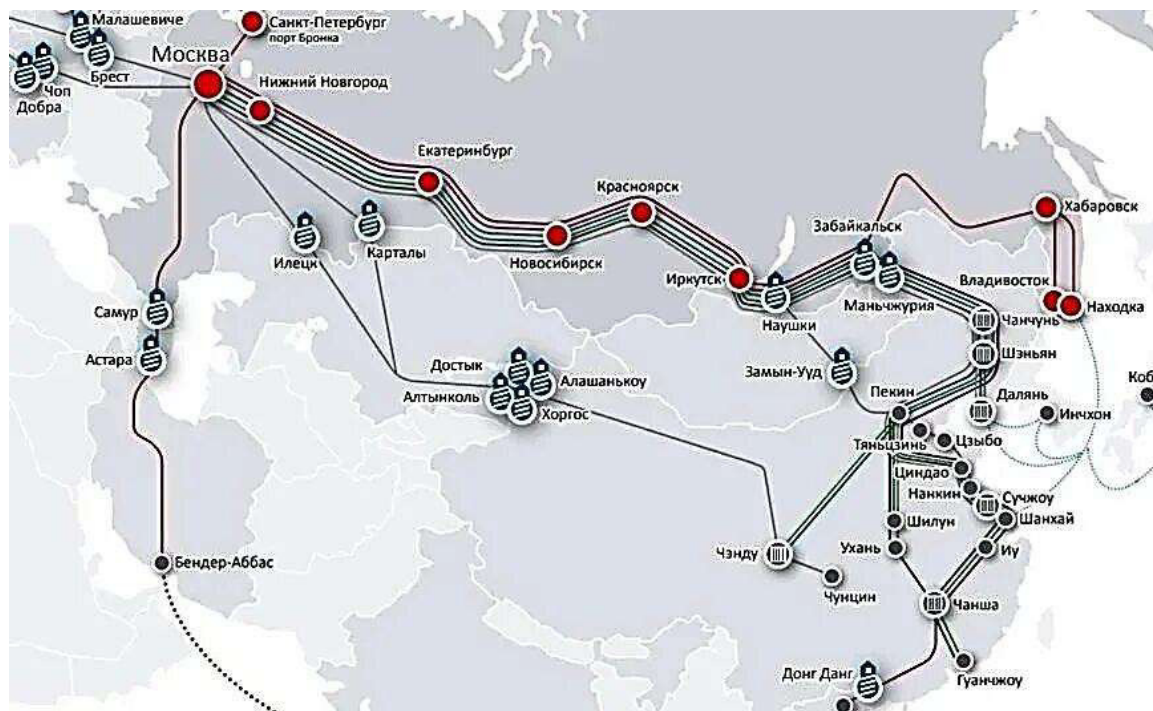


**Рис. 2.** Транзитные коридоры Забайкальск – Достык



Проект направлен на восстановление экономических связей между Азиатско-Тихоокеанским регионом и Западной Европой, вдохновленный древним «Шелковым путем» [10, с. 113]. Цель создания – стимулировать открытую экономическую систему и оживить мировую экономику. Министр иностранных дел Китая Ван И подтвердил эти цели.

Прямое железнодорожное сообщение между Китаем и Россией осуществляется контейнерными поездами, следующие без перегрузки до конечного пункта [8, с. 3]. Транзитные поезда из Китая следуют в Москву на станцию Ворсино, но возможна доставка и на другие станции, включая Белый Раст, Селятино, Силикатная и др. [7, с. 3]. Кроме Москвы, поезда также доставляют грузы в другие города: Екатеринбург, Новосибирск, Красноярск, Иркутск и Казань [7, с. 3].

Ограниченные пропускные и провозные способности на магистралях препятствуют росту объемов железнодорожных перевозок [1, с. 21].

РЖД планировал к 2024 году провести мероприятия, направленные на увеличение провозной способности Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей до 180 млн тонн [1, с. 21].

В 2019–2025 гг. запланировано развитие на Дальнем Востоке, что позволит увеличить пропускную и провозную способность магистралей и обеспечить перевозку прогнозируемого объема грузов до 2025 года.

РЖД предложили создать «ТрансЕвразия» – единую высокоскоростную железную дорогу, которая проходит через всю Евразию. Она будет перевозить пассажиров и высокотехнологичные товары из России (порты Дальнего Востока) и Китая, сокращая время доставки в 3 раза по сравнению с обычными железнодорожными технологиями и в 15 раз по сравнению с морскими перевозками [2, с. 158; 3, с. 44]. «ТрансЕвразия» соединит китайские и западноевропейские скоростные линии, создавая глобальную железнодорожную сеть протяженностью 50 000 км.

Железнодорожные перевозки обладают множеством преимуществ, таких как:

1. Высокая пропускная способность: поезда способны перевозить большие объемы грузов, эффективно размещая множество контейнеров на специализированных вагонах. Это очень ценно для крупных партий, ибо это позволяет доставить значительное количество товаров за одну поездку [7, с. 3];

2. Сроки поставки: железнодорожный транспорт обеспечивает сопоставимые со сроками морской перевозки сроки доставки, при этом исключая задержки, характерные для морского сообщения, то есть поезда следуют напрямую до пункта назначения, минуя заходы в порты и связанные с этим риски срыва графика [4];

3. Экономическая эффективность: более низкая стоимость по сравнению с авиа- и морскими перевозками [8, с. 140];

4. Оптимизированная логистика: включает в себя планирование документации, выбор оптимальных маршрутов, соблюдение таможенных и правовых норм и доставку «от двери до двери» [8, с. 140];

5. Сокращение перегрузок: во время железнодорожной перевозки повышается сохранность груза, за счет минимизации количества перегрузок, в сравнения с морским сообщением, где требуется несколько перегрузок [8, с. 140].

Наряду с преимуществами существуют и недостатки:

1. Ограниченность перечня грузов: к перевозке по железной дороге в Китае нельзя перевозить некоторые группы грузов, к примеру, опасные и жидкие грузы. Такое решение было принято в прошлом, когда перевозка таких грузов была сопряжена с высокими рисками и низкой экономической эффективностью, но уже сегодня, благодаря технологическому прогрессу и новым стандартам, можно обеспечить безопасную транспортировку таких грузов [7, с. 4].

2. Из-за увеличения веса грузов, перевозка становится более дорогостоящей, а иногда и вовсе невозможной. Это связано с тем, что тяжелый груз увеличивает нагрузку на поезда и железнодорожные пути, повышая риск аварийных ситуаций во время транспортировки [7, с. 5].

3. Проблемы с инфраструктурой: припортовые железнодорожные станции и контейнерные терминалы не обладают достаточными перерабатывающими мощностями [6, 1. с. 21–22].

4. Дефицит контейнеров: фактором, который сдерживает развитие контейнерных перевозок на Китай, является дефицит контейнерного парка в стране, а увеличение числа контейнеров потребует значительного расширения парка фитинговых платформ для их перевозки [9, 3, с. 44]. «Грузоперевозки из Китая резко подорожали из-за острого дефицита контейнеров. Нехватка пустых контейнеров в стране объясняется рядом проблем. В мае они подорожали на 50 процентов, и участники рынка ожидают дальнейшего роста цен. Такая ситуация сложилась из-за конфликта в Красном море: нападения йеменских хуситов вынуждают суда идти в обход мыса Доброй Надежды, и удлинение рейсов привело к росту числа контейнеров, находящихся в пути, объяснил глава «Транс Синергии»» – сообщает «Коммерсантъ».

5. Китайские экспедиторы, отправляющие грузы в Россию, взимают плату с российских получателей за возврат контейнеров. Одновременно, сложности возникли и с отправкой пустых контейнеров в Россию для обратной загрузки [9].

*Вывод.* На сегодняшний день самый эффективный и надежный способ доставки грузов из России в Китай – это контейнерные перевозки, отличающийся высокой скоростью, объемом и экономической выгодой. Сегодня они успешно конкурируют с морскими перевозками, предлагая более короткие сроки доставки и стабильные цены.

*Библиографический список*

1. Викторов, В. А. Некоторые проблемы организации контейнерных перевозок на направлении Китай – Россия / В. А. Викторов. – Текст : непосредственный // Матрица научного познания. – 2020.
2. Губарева, Д. В. Российско-Китайское железнодорожное сообщение: современность / Д. В. Губарева, Л. В. Ольшанская. – Текст : непосредственный // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 5-2 (92).
3. Власова, Н. В. Декомпозиция основных бизнес-процессов и зоны формирования рисков железнодорожной транспортной системы в сфере грузовых перевозок / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4 (63). – С. 44–52.
4. Перевозки из Китая резко подорожали из-за ряда проблем : официальный сайт. – Москва, 03.06.2024. – URL : <https://lenta.ru/news/2024/06/03/perevozki-iz-kitaya-rezko-podorozhali-iz-za-ryada-problem/> (дата обращения: 04.10.2024). – Текст : электронный.
5. Подберёзкина, О. А. Российско-Китайское сотрудничество в области транспорта и логистики в новых геополитических условиях в 2022-2023 гг. / Ольга Алексеевна Подберёзкина, Сергей Леонидович Сазонов. – Текст : непосредственный // Обозреватель – Observer. – 2023. – № 3 (398).
6. РЖД в I квартале увеличили транзит контейнеров из Китая в ЕС на 44 % : официальный сайт. – Москва, 05.04.2024: – URL : <https://tass.ru/ekonomika/20450953> (дата обращения: 04.10.2024). – Текст : электронный.
7. Сысоенко, М. В. Преимущества, недостатки и перспективы развития рынка грузоперевозок из Китая в Россию с помощью прямого железнодорожного сообщения / Мария Вячеславовна Сысоенко, Анастасия Игоревна Беленкова. – Текст : непосредственный // E-Scio. – 2022. – № 2 (65).
8. Фартунин, И. А. Организация контейнерных перевозок из России в Китай / И. А. Фартунин. – Текст : непосредственный // Инновационная наука. – 2024. – № 4-1. – С. 139–141.

9. Экспорт не дотянул до баланса. – Москва, № 24 (508), декабрь 2023. – URL : <https://www.rzd-partner.ru/publications/rzd-partner/-24-508-december-2023/eksport-ne-dotyanul-do-balansa/> (дата обращения: 04.10.2024).

10. Власова, Н. В. Комплекс мероприятий, направленных на привлечение дополнительных объемов перевозок, перевозимых в крупнотоннажных контейнерах, и повышение качества обслуживания клиентов при увеличении скорости перевозок грузов / Н. В. Власова, Е. И. Игнатьева, К. Е. Гордеев. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 3 (13). – С. 113.

**Н. В. Власова, Н. И. Тихонов, Е. С. Татарникова**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

### **ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ЛОГИСТИКЕ И НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

*В статье описана такая цифровая трансформация логистических поставок, как цифровой двойник. Рассмотрены этапы создания цифрового двойника, его виды и методы использования. Также проанализированы преимущества и недостатки использования цифровых двойников на предприятиях. В сфере железнодорожного транспорта рассмотрены некоторые проекты, которые в дальнейшем хотят ввести в эксплуатацию. Приведены примеры использования цифровых двойников в логистике и на железнодорожном транспорте в программе AnyLogic.*

*Ключевые слова: цифровой двойник, логистика, логистические цепочки, железнодорожный транспорт, модель.*

Многие компании были вынуждены перенести свои бизнес-операции с помощью цифровизации – некоторые до пандемии COVID-19, некоторые в результате – чтобы сохранить свой бизнес на плаву [1, с. 12]. Как известно, технология, помимо прочего, может снизить случайность человеческой неточности в обработке информации, улучшить и ускорить операции, производимые на производстве, а также облегчить доступ к информации в любом месте для сотрудников [1, с. 12]. Благодаря современным инновационным технологиям, таким как интернет вещей, анализ больших данных, распределенные облачные вычисления, открытые API, искусственный интеллект и виртуальная реальность, тех-

нология цифровых двойников находит широкое применение в разных секторах экономики [3, с. 49].

Цифровой двойник – это виртуальная копия реального объекта, точно воспроизводящая его поведение, характеристики и состояние в режиме реального времени [11, с. 32–39].

Цифровой двойник позволяет компаниям видеть все этапы системы, от производства до доставки, что дает возможность оптимизировать процессы, принимать лучшие решения и предсказывать проблемы заранее [8, с. 24].

С помощью цифрового двойника компании могут:

1. Анализировать прошлое: изучать исторические данные и выявлять тренды;
2. Оптимизировать настоящее: улучшать текущие процессы и повышать эффективность;
3. Развивать будущее: внедрять инновации и создавать новые модели бизнеса [8, с. 24].

Цифровой двойник логистической цепи – точная копия реальных процессов управления поставками. Она позволяет имитировать и оптимизировать работу цепочками.

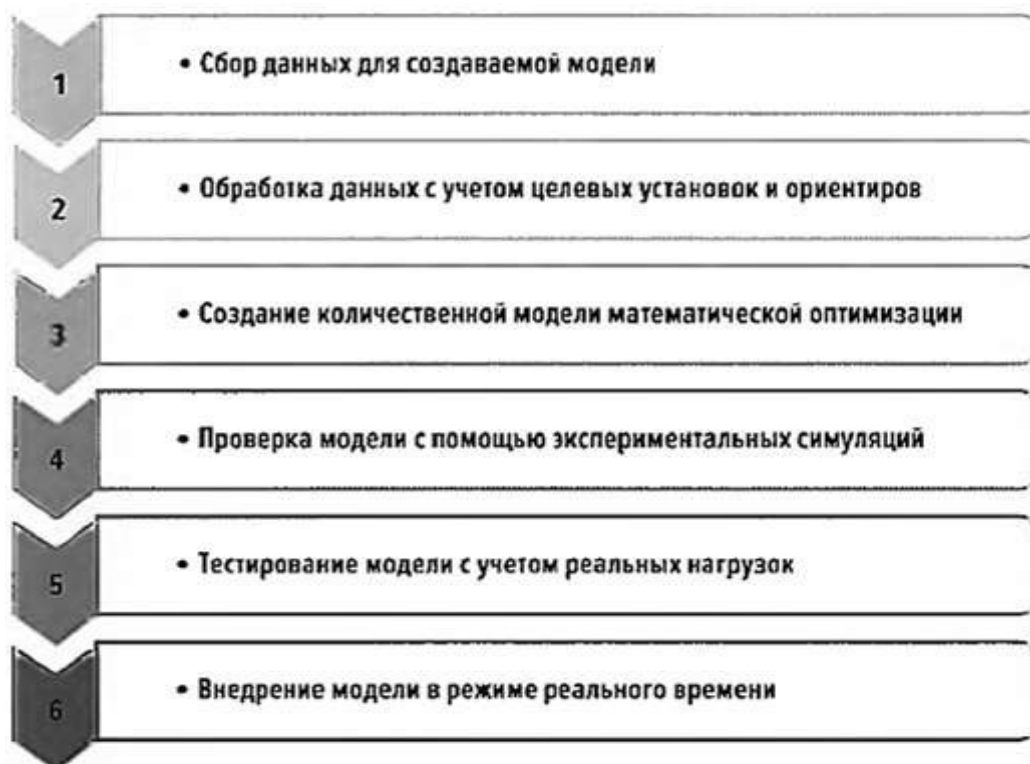


**Рис. 1.** Процедура воссоздания физической модели комплексного цифрового двойника [4, с. 175]



Для описания логистических цепочек наиболее популярная имитационная модель. Данная модель, полностью копирует реальную обстановку и позволяет прогнозировать различные ситуации [3, с. 50]. Например, можно рассчитать необходимое количество окон для загрузки/разгрузки транспорта, учитывая пиковые нагрузки [3, с. 50]. Цифровой двойник особенно полезен при проектировании складских операций.

Моделирование комплексного цифрового двойника для решения задач в городской среде требует шестиэтапной процедуры (рис. 1):

1. Сбор данных: информация о местоположении, потоках людей, скорости автомобилей и других ключевых факторах;
2. Обработка данных: подготовка данных для конкретной цели, формулируемой в математической модели;
3. Создание модели: разработка количественной модели, способной принимать решения;
4. Тестирование: проверка модели с помощью симуляции, чтобы убедиться в ее точности и способности отражать реальное поведение города;
5. Внедрение: использование модели для принятия решений в реальном времени, сравнение результатов с прошлыми данными;
6. Коррекция: автоматическое обучение модели для исправления отклонений и оптимизации работы [4, с. 175].

Цель этих этапов – создать надежную модель, способную принимать точные и эффективные решения в будущей работе модели [11, с. 32–39].

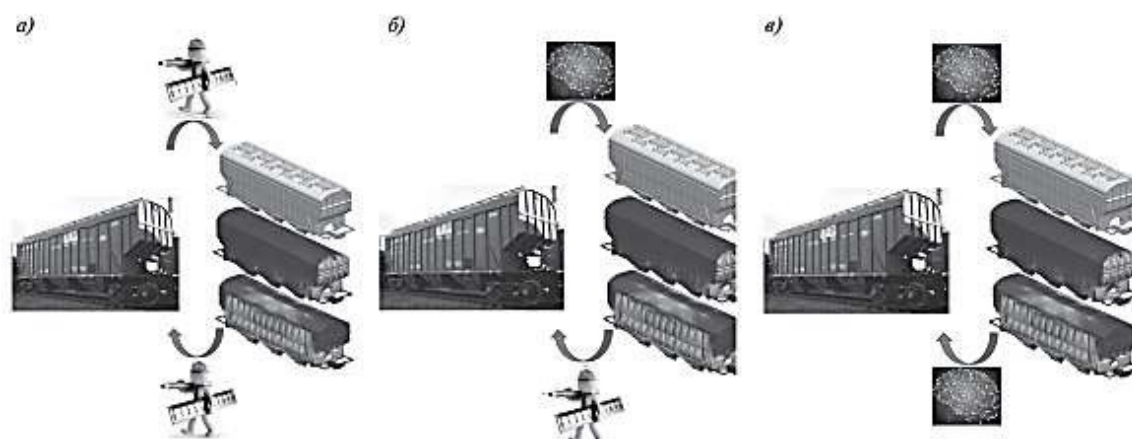


**Рис. 2.** Различие в подходах к цифровому проектированию: а) цифровая двойник с визуализацией; б) цифровая тень; в) цифровой двойник с обратной связью [10, с. 94]

Существует множество подходов к созданию цифровых двойников, но в управлении складом преимущественно используются три типа (рис. 2):

1. Цифровая тень: статичная модель, позволяющая отслеживать состояние оборудования;
2. Цифровой двойник с визуализацией: позволяет моделировать ситуации и предсказывать поведение оборудования;
3. Цифровой двойник с обратной связью: полная виртуальная копия, которая позволяет дистанционно управлять оборудованием (например, такие цифровые двойники на складе собирают информацию, помогают анализировать данные и визуализировать процессы, улучшая эффективность работы и оптимизируя управление, находясь за сотню километров) [5, с. 127–135].



**Рис. 3.** Пример цифрового двойника с визуализацией в логистике в программе AnyLogic

С помощью цифрового двойника можно:

1. Изучать динамику и особенности цепочки поставок: понять, как работают отдельные звенья, выявить слабые места и оптимизировать процессы на предприятии;
2. Проводить виртуальные эксперименты: изменять конфигурацию цепочки, добавлять новые элементы и тестировать различные сценарии (на рис. 4 изображено изменение работы вокзала при изменении соответствующих элементов в программе AnyLogic);

3. Прогнозировать риски и тестировать устойчивость: имитировать чрезвычайные ситуации и разрабатывать план действий для их преодоления;

4. Оптимизировать логистику: планировать маршруты доставки и оптимизировать запасы;

5. Анализировать финансы: отслеживать финансовые потоки, расходы на обслуживание клиентов и оптимизировать затраты;

6. Прогнозировать работу логистической цепочки на дни и недели вперед [9, с. 569–573].

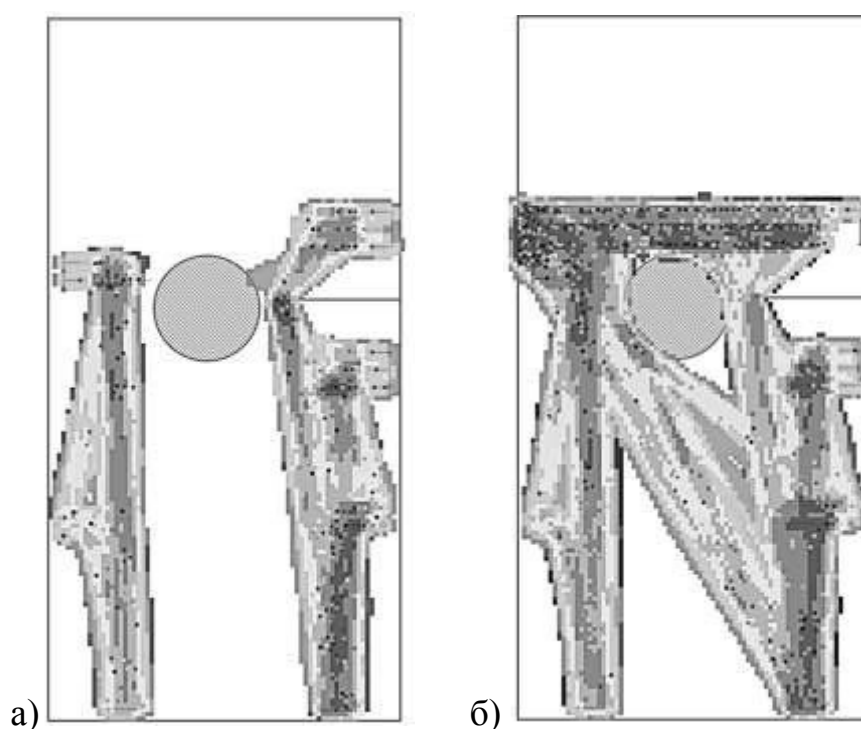


**Рис. 4.** Поток людей на вокзале а) с 5 терминалами по 3 турникета и касс; б) с 4 терминалами по 3 турникета и касс, 1 терминал с 1 турникетом и кассой

Приведем основные преимущества, обеспечивающие цифровую трансформацию логистики с помощью цифровых двойников:

1. Повышение эффективности: автоматизация и оптимизация процессов сокращают время и ресурсы, затрачиваемые на логистические операции;

2. Скорость и экономия: улучшенная маршрутизация и планирование доставки сокращают время доставки и стоимость транспортировки;

3. Прозрачность и надежность: отслеживание грузов в реальном времени повышает прозрачность и надежность всей логистической системы, предупреждая сбои и оптимизируя качество;

4. Лучшее взаимодействие с клиентами: удобные способы заказа, отслеживания и получения товаров, а также своевременная информация и быстрое реагирование на изменения условий доставки, улучшают клиентский опыт;

5. Оптимизация процессов: анализ цифровых двойников позволяет выявлять узкие места и проблемы в цепочке поставок и принимать меры для их устранения;

6. Инновации: цифровые технологии открывают новые возможности для автоматизации и внедрения передовых решений в логистике;

7. Устойчивость и экологичность: оптимизация процессов также снижает выбросы и оптимизирует использование ресурсов, делая логистику более устойчивой и экологичной [8, с. 26].

Создание цифрового двойника – это не панацея. Несмотря на преимущества, есть и свои недостатки.

Разработка качественной модели требует серьезных вложений, включая не только программное обеспечение, но и оборудование для сбора данных [5, с. 127–135]. Экономия на этом этапе может привести к неточности модели и негативным последствиям [5, с. 267–268].

Искусственный интеллект не может полностью заменить человека. Он опирается только на имеющиеся данные, и не всегда способен адекватно реагировать на нестандартные ситуации [5, с. 268]. Искусственный интеллект – это инструмент, а не замена человеческого опыта и здравого смысла.

Цифровой двойник содержит конфиденциальную информацию о вашей работе, что повышает риск кражи интеллектуальной собственности [5, с. 127–135].

Внедрение цифровых двойников в России может столкнуться с сопротивлением сотрудников, которые опасаются сокращения рабочих мест [2, с. 548]. Тем не менее, для предприятий использование цифровых двойников выгодно: это ускоряет процессы, снижает издержки и оптимизирует производство.

Состояние пути играет ключевую роль в безопасности перевозок на железнодорожном транспорте. «Цифровой двойник пути» обещает снизить затраты на ремонт и модернизацию путей, но требует дальнейшей разработки [11, с. 557–558]. Однако технология подтверждена кибератаками, нуждается в постоянном обновлении и требует значительных ресурсов для внедрения [11, с. 32–39].

Разработка скоростного вагона-платформы (160 км/ч) станет пилотным проектом для внедрения виртуальных подходов [10, с. 97]. Выбор обусловлен ростом производства вагонов-платформ (в 2019 г. 5 тыс. ед.,

против 3,9 тыс. в 2018 г.) вследствие увеличения контейнерных перевозок. Рост контейнерных перевозок наблюдается уже несколько лет (январь-июль 2024 г. +8,8 % к январь-июль 2023 г.).

Перевозка ценных и хрупких грузов требует пристального внимания. Для этого используются системы мониторинга, включающие в себя:

1. GPS-отслеживание;
2. Контроль запорных устройств;
3. Контроль ускорений;

4. Дополнительные меры безопасности для вагона при высокой скорости [10, с. 97].

Однако без создания цифрового двойника вагона-платформы, эти системы могут стать устаревшими и неэффективными [10, с. 97].



**Рис. 5.** Пример применения цифрового двойника на железнодорожном транспорте в программе AnyLogic – сортировка вагонов по путям в зависимости от вида подвижного состава

Таким образом, цифровые двойники становятся все более важным инструментом для оптимизации и повышения эффективности логистических процессов, также и в сфере железнодорожных перевозок. Их способность моделировать реальные объекты и системы в виртуальной среде позволяет улучшить планирование и оптимизацию маршрутов, повысить эффективность управления процессами, улучшить логистику цепочки поставок, ускорить внедрение новых технологий. Однако, необходимо учитывать некоторые вызовы, связанные с созданием и поддержкой цифровых моделей, а также с защитой конфиденциальных данных. Несмотря на это, использование цифровых двойников обещает стать ключевым фактором развития современной логистики и железнодорожного транспорта.

#### *Библиографический список*

1. Kajba, M. Literature quantity on digital twins in supply chain and logistics / М. Kajba. – Текст : непосредственный // Логистические системы в глобальной экономике. – 2022. – No. 12. – Р. 12–17.



2. Еловая, Е. М. Роль цифровых двойников и их преимущества в логистике / Е. М. Еловая, А. М. Верченкова. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы социально-экономического развития современного общества : материалы V международной научно-практической конференции, Киров, 29 мая 2024 года. – Киров : Кировский государственный медицинский университет, 2024. – С. 545–548.

3. Жидкова, М. А. Цифровые двойники в логистике / М. А. Жидкова, Ж. П. Самохвалова, Д. О. Кравченко. – Текст : непосредственный // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности : сборник трудов XXVI международной конференции, XXIV Международного конкурса научных и научно-методических работ, III Международного конкурса «Нейросетевой рисунок», Мытищи-Москва, 09–10 ноября 2023 года. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Экон-Информ», 2023. – С. 49–51.

4. Майоров, А. В. Цифровые двойники и их экономически целесообразное использование в сфере логистики / А. В. Майоров, Н. Ю. Егорова. – Текст : непосредственный // Техник транспорта: образование и практика. – 2024. – 5 (2). – С. 173–178.

5. Власова, Н. В. Цифровизация как основное стратегическое направление для достижения устойчивой конкурентной позиции ОАО «РЖД» на транспортном рынке / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 1 (77). – С. 127–135.

6. Михайлова, Д. Н. Цифровые двойники на железнодорожном транспорте / Д. Н. Михайлова, В. Д. Фешин. – Текст : непосредственный // Научные исследования: проблемы и перспективы в контексте глобальных вызовов : сборник научных трудов по материалам XXI международной научно-практической конференции, Анапа, 23 января 2024 года. – Анапа : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экономических и социальных процессов» в Южном Федеральном округе, 2024. – С. 26–31.

7. Никонова, Я. И. Цифровые двойники на железнодорожном транспорте: преимущества и проблемы внедрения / Я. И. Никонова. – Текст : непосредственный // Муниципальная академия. – 2024. – № 1. – С. 124–133.

8. Столяров, А. Д. Цифровая трансформация логистики предприятия с использованием цифровых двойников / А. Д. Столяров, А. М. Файзуллина, В. И. Абрамов. – Текст : непосредственный // Beneficium. – 2024. – № 2 (51). – С. 23–31.

9. Старожилова, А. В. Внедрение цифровых платформ документооборота для автоматизации процессов грузоперевозок железнодорожным транспортом / А. В. Старожилова, Е. А. Смоловская, Н. В. Власова. – Текст : непосредственный / В сборнике : автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск, 2023. – С. 569–573.

10. Шевченко, Д. В. Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте / Д. В. Шевченко. – Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – Т. 80, № 2. – С. 91–99.

11. Банденок, В. О. Применение цифровизации в транспортной отрасли и новой реальности / В. О. Банденок, И. Г. Полищук, Н. В. Власова, Е. Ю. Царегородцева. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2023. – № 1 (19). – С. 32–39.

**В. Е. Зиновьев**

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

### **АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ**

*В работе рассмотрены вопросы создания международных транспортных коридоров и проведена оценка их влияния на современные транспортно-логистические системы. Доказано, что основным фактором, который обеспечил существующее на сегодняшний день положение, стало уникальное географическое положение России. Приведены сведения об основных международных коридорах, планируемых к внедрению в 2024–2030 гг. Детально проработаны достоинства и недостатки существующих транспортно-логистических маршрутов. Рассмотрены перспективы интеграции различных участников в функционирование данных коридоров.*

*Ключевые слова: роль, транспорт, коридор, создание, развитие, анализ, путь.*

Анализируя произошедшие в последние годы события, можно однозначно утверждать, что произошло смещение экономических основ осуществления транспортно-логистической деятельности за счет переориен-

тирования мировой экономики в сторону стран мирового большинства. Данные глобальные, можно сказать тектонические изменения, стали возможным за счет активного внедрения модели много полярного мира.

Проведённый анализ позволил установить, что основной причиной малой эффективности внешних санкций стало уникальное географическое положение России. В экономике России не произошло эффекта «домино», на который рассчитывали западные партнеры. Наоборот, нашу страну многие стали рассматривать как безопасного проводника и провайдера транспортно-логистических услуг, поэтому наиболее конкурентно ориентированные и не политизированные страны (Китай, Вьетнам, Индия и другие) стараются активно использовать данное преимущество, чтобы избежать влияния извне и своевременно отвечать на возникающие вызовы. Практика показала, что транспортный коридор не может возникнуть сам по себе, для его появления необходима уже сформированная или перспективная грузовая база. Россия на сегодняшний день является одной из крупнейших стран по существующим и планируемым грузоперевозкам. На сегодняшний день различные компании страны участвуют в разработке и запуске 10 международных транспортных коридоров, приоритетными для нас несомненно являются коридоры «Восток-Запад» и «Север-Юг» [1–3].

Однако на сегодняшний день одного участия недостаточно для полноценной работы данных коридоров, также необходимо своевременно модернизировать и унифицировать механизмы работы и функционирования данных коридоров. На сегодняшний день основными считаются два механизма.

Первый механизм необходим для интеграции в работу коридоров крупных игроков данного сегмента рынка, а также вовлечения в механизмы взаимодействия и других перспективных компаний. Не секрет, что компании зачастую пользуются проверенными ранее схемами оказания услуг и отказаться от них и перейти на новые их может заставить либо экономическая выгода, либо помощь в интеграции в механизмы новых международных транспортных коридоров. Здесь на помощь данным организациям (логистическим операторам) приходит механизм субсидирования затрат данных компаний в обмен на участие в работе и разработке новых логистических маршрутов. Несомненно провайдеров логистических услуг заинтересуют четыре основных транспортных коридора – в Латинскую Америку, в Африку, Северный морской путь и МТК Север – Юг. Одним из проверенных способов снижения издержек является создание регулярных контейнерных перевозок по данным маршрутам, что позволит создать устойчивые транспортные потоки и «раскатать»

маршрут. Планируемый товарооборот, по данным направлениям по экспертным оценкам к 2030 году может составить более \$162 млрд [3].

Вторым механизмом воздействия на активное внедрение международных транспортных коридоров в существующую транспортно-логистическую систему – является создание современной транспортной инфраструктуры вдоль маршрута. Форма присутствия различных отраслей экономики и компаний может быть различной. Это и индустриальные парки, торговые центры, логистические пункты, перегрузочная и складская инфраструктура, да и сами современные склады для хранения запаса товара. Особенностью данной инфраструктуры и основным преимуществом современных коридоров является то, что все работы по созданию инфраструктуры надо проводить в плотной увязке с темпами развития международных транспортных коридоров. Необходимо учитывать сделанные ошибки, которые несомненно будут, и вовремя корректировать проекты, ранее данная работа не проводилась.

Различными профильными министерствами и ведомствами проеден детальный анализ современного состояния исследуемого вопроса, определены важнейшие приоритеты, которые закреплены Посланием президента России, а также нашли отражение при редактировании национального проекта «Международная кооперация и экспорт» до 2030 года» [1–4].

Основным фактором, который позволяет планировать и создавать международные транспортные коридоры является уверенность в постоянном развитии экономики дружеских стран. Участие различных стран в обеспечении работы МТК позволяет с уверенностью ожидать синергетического эффекта для смежных отраслей и стран. В качестве примера можно отметить тесное сотрудничество России по развитию международного транспортного коридора Север – Юг. В реализации проекта задействованы пять стран (Россия, Казахстан, Республика Беларусь, Армения и Киргизская Республика) и каждый ожидает экономического эффекта для своей экономики. Кроме того такой позитивный пример несомненно послужит основанием для расширения списка участников проекта за счет целого ряда исламских государств, лидером по интеграции в данное сообщество несомненно является [1, 3].

Вторым примером «обрастания» существующего транспортного коридора новыми связями и маршрутами является Восточный обход Каспийского моря, через целый ряд стран (Казахстан, Туркменистан и Иран) к Персидскому заливу. Это позволит интегрировать железнодорожную сеть России в существующую транспортную инфраструктуру стран Центральной Азии.

Анализируя последние высказывания руководителей, курирующих данную отрасль можно с уверенностью сказать, что развитие транспортного коридора Север – Юг не остановится после интеграции железнодорожной сети. Очевидно, что потребуются интеграция водных путей, и через реку Волга обеспечить транспортную доступность любого порта на Каспии [3].

Отдельно следует сказать про развитие международных автомобильных маршрутов. Финальной целью является транспортная доступность Китая и Центральной Азии с Россией. Причем это должны быть современная скоростная магистраль со всей необходимой инфраструктурой. Побочным эффектом от ее строительства станет развитие автотуризма и перевозка грузов по типовым маршрутам отдельными гражданами. В приоритетных направлениях также стоит поиск путей интеграции Узбекистана и Таджикистана с Афганистаном и Пакистаном.

Очевидно, что для успешного решения поставленных амбиционных задач необходима системная работа отрасли по следующим ключевым направлениям:

- обеспечение бесшовной логистики на транспортных коридорах;
- расширение возможностей пунктов пропуска;
- внедрение электронных пломб.

Создание таких коридоров необходимо детально прорабатывать и координировать с правительствами стран участников проекта. Существуют «несколько» узких мест, которые необходимо учитывать:

- работа по устранению различий в таможенных законодательствах;
- исключить случаи, когда двухсторонние отношения противоречат государственным актам;
- активное участие всех стран участников, что позволит убрать барьеры при доставке грузов;
- активная цифровизация процессов оформления учета, страхования, выдачи груза.

Позиция практически всех участников проектов МТК предельно ясна и озвучена на различных площадках, а именно Россия является ключевым партнером для многих стран евро-азиатского сообщества, поскольку предлагает самый оптимальный, короткий и быстрый способ связать отдельные страны различных регионов [3]. Однако существующие политические проблемы не позволяют выстроить максимально устойчивые логистические цепочки, которые потом смогут трансформироваться в транспортные коридоры. Страдает как сама скорость создания данных цепочек, так и слабая универсальность их по регионам, грузам и срокам доставки. Зачастую альтернативы логистическому пути



либо нет, либо он очень дорог и долог. С учетом наработанного опыта, появились новые тренды:

- выгоднее производить продукт в том регионе, где он продается;
- на ведущее место выходит скорость доставки груза;
- приоритетным требованием стало сохранность груза;
- исключение из транспортно-логистических путей, факторов с высокой степенью риска.

Основные задачи на текущий краткосрочный период по созданию и развитию международных транспортных коридоров уже определены:

- необходимо отработать с компаниями и правительствами заинтересованных стран чтобы вся цепочка – от портов Северо-Запада России до Бендер-Аббаса и других портов Индийского океана – была отработана;
- внедрение долгосрочных обязательств для всех участников, в первую очередь – ship-or-pay («вези или плати»);
- создание альтернативных устойчивых платёжных механизмов, которые дают чёткие гарантии всем участникам.

Все вышеперечисленные направления можно свести к единому тренду – стремление участников рынка к созданию гибких логистических маршрутов в условиях высоких рисков работы с некоторыми странами. Открытие дружественных рынков для российских экспортёров и импортёров в странах, торговля с которыми не была сильно развита повлечёт за собой создание новых логистических маршрутов и наращивание грузопотока на уже существующих сервисах.

#### *Библиографический список*

1. Зиновьев, В. Е. Оценка степени влияния уровня механизации работ на эффективность функционирования транспортно-логистической системы / В. Е. Зиновьев. – Текст : непосредственный // Транспорт-2023 : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2023.

2. Multi-agent Green Logistics Technologies in the Export Transport / L. V. Makolova, E. A. Mamaev. – Текст : электронный // Lecture Notes in Networks and Systems : 5th International Scientific Conference on Intelligent Information Technologies for Industry, ITI 2021Sochi. – 2022. – Т. 330. – Р. 360–369. DOI 10.1007/978-3-030-87178-9\_36.

3. Верескун, В. Д. Оценка перспектив роста грузооборота международного транспортного коридора «Север-Юг» в современных условиях / В. Д. Верескун, Э. А. Мамаев, Д. В. Сорокин. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 3 (91). – С. 45–56.

4. Нейросетевое исследование транспортных систем / О. Н. Числов, Н. Н. Лябах, М. В. Колесников [и др.]. – Текст : электронный // Транспорт: наука, техника, управление. – 2021. – № 10. – С. 9–13.

**В. В. Зубков, Д. А. Седых**  
АО «ОМК Стальной путь»,  
г. Москва, Россия

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА СТАНЦИИ ПРИМЫКАНИЯ**

*Оптимизация перевозочного процесса на железнодорожном транспорте в условиях роста объёмов является актуальной задачей. Один из путей оптимизации – построение информационных управляющих моделей, позволяющих не только формировать, концентрировать информационные потоки, но и интегрировать их в единое транспортно-информационное пространство для определения наилучших вариантов совершенствования процесса перевозок. В работе представлен программный продукт для ЭВМ «Электронный сервис маневровой работы (ЭС МР)», который прошёл государственную регистрацию. Данный программный продукт разработан как комплекс, соорганизующийся с реальной производственной практикой, соединимый с ней и органично изменяющий её.*

*Ключевые слова: оптимизация, интеграция, электронные данные, программный продукт, маневровый локомотив.*

Оптимизация на станции примыкания подготовительных и заключительных операций при перевозке грузов, является одной из приоритетных задач железнодорожной отрасли. Один из путей оптимизации данных технологий, это построение информационных управляющих моделей, позволяющих не только формировать, концентрировать информационные потоки, но и интегрировать их в единое транспортно-информационное пространство для определения наилучших вариантов совершенствования процесса перевозок в комплексе.

Проведенные исследования показывают, что вектор темпа трансформации ИТ-технологий в железнодорожном транспортном комплексе направлен на охват множества транспортно-логистических функций в сегменте реализации (выполнении) перевозочного процесса, а инфор-

мационные технологии, используемые на линейном уровне (станция примыкания, пути необщего пользования) не соответствуют требованиям электронного оборота информации, более того в большем виде обмен информацией осуществляется на бумажных носителях [1]. Недостатки таких технологий очевидны: отсутствие оперативного прохождения и получения данных о выполнении производственных задач, детализации по-операционного соблюдения технологии, рост уровня влияния человеческого фактора, рост непроизводительных простоев в производстве и т.д.

Для снижения уровня воздействия негативных факторов на перевозочный процесс в его линейном сегменте (станция примыкания, производственные предприятия), в работе представлен программный продукт для ЭВМ «Электронный сервис маневровой работы (ЭС МР)». Принципы построения данной информационной модели основаны на:

- организация маневровой работы на станции примыкания (СП) и путях необщего пользования (ПНП), обеспечивается путем объединения парка маневровых локомотивов (авторское определение объединенный парк маневровых локомотивов (ОПМЛ) – количество маневровых локомотивов эксплуатируемого парка перевозчика и владельца ПНП, в т. ч. и арендованных, т. е. условное их объединение в один парк);
- организация маневровой работой на СП и ПНП, осуществляется с единого управляющего устройства – автоматизированного рабочего места СП [2];
- формирование сквозного плана маневровой работы осуществляется на глубину планирования до трех суток [3];
- отображение в информационных данных всех технологических операций в реальном режиме времени [4].

Визуализация программного продукта для ЭВМ «Электронный сервис маневровой работы (ЭС МР)» представлена на рис. 1, 2, 3, 4.

Вход в программу осуществляется по логину и паролю, который индивидуален для каждого работника – пользователя (*рис. 1*). Нажимая информационную кнопку «Схема станции» происходит формирование цифрового окна с немасштабной схемой железнодорожной станции с указанием путей общего пользования, ПНП, устройств СЦБ. Данное окно визуализирует информацию:

- занятость или свободность путей, в случае занятости путей, отображается информация о количестве вагонов в физическом измерении и условном (условная длина вагона);
- территориальное расположение вагонов и маневровых локомотивов (четная или нечетная сторона);

– занятость или свободность маневровых локомотивов с указанием их номеров [5].

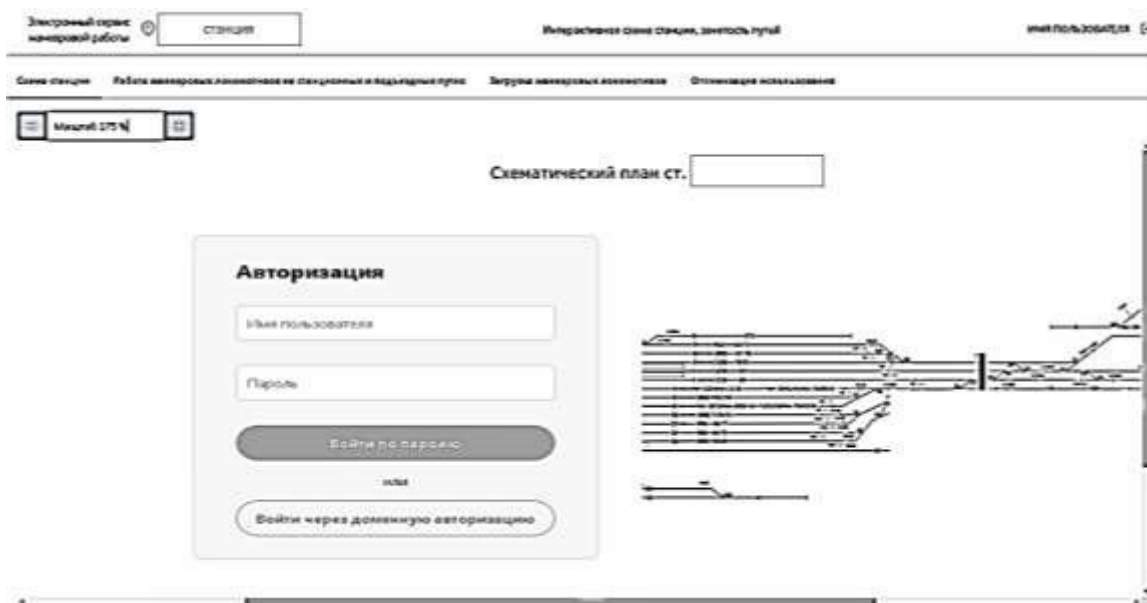


**Рис. 1.** Фрагмент информационного слоя программного продукта для ЭВМ «Авторизация пользователя» и «Схема станции»

При нажатии информационной кнопки «Путь общего пользования» отображаются данные:

- вместимость пути в условных вагонах;
- номер пути и уровень его занятости / свободности, в случае занятости, в том числе отображается участок, на котором закреплен подвижной состав тормозными башмаками и детализация закрепления [5].

При нажатии информационной кнопки «Вагоны», происходит визуализация:

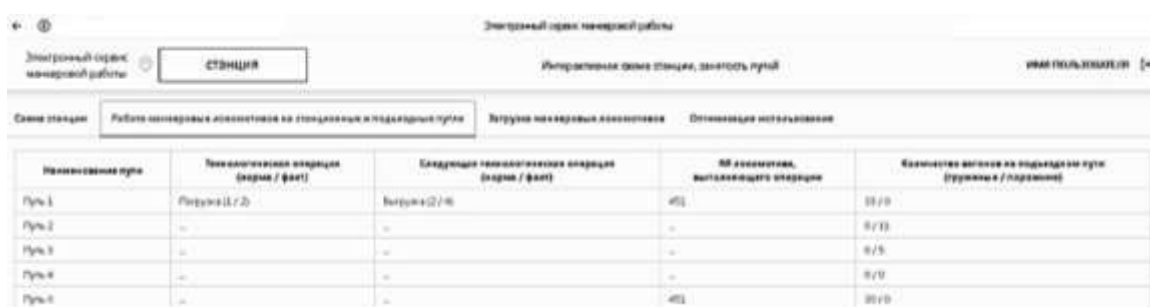
- количества физических вагонов с детализацией груженых и порожних;
- номера вагонов, их назначение, как по прибытию, так и по отправлению [5].

При нажатии информационной кнопки «Наименование пути общего пользования» формируется информация:

- наименование ПНП, наличие собственного маневрового локомотива и его номер;
- техническая характеристика грузовых фронтов;
- количество в реальном режиме времени вагонов, их статус груженые или порожние, их номера и назначение [5].

Информационный слой (рис. 2) отображает электронные данные о маневровой работе в режиме реального времени:

- наименование пути производства маневровой работы;
- пооперационная детализация технологических операций на грузовых фронтах;
- нормы времени на выполнение технологических операций и фактическая их реализация;
- номер локомотива выполняющего операции и его принадлежность с указанием его загрузки (количество вагонов и их статус груженные / порожние) [5].



| Наименование пути | Технологическая операция (норма / факт) | Следующая технологическая операция (норма / факт) | № локомотива, выполняющего операцию | Количество вагонов на подъезде к пути (груженные / порожние) |
|-------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Путь 1            | Погрузка (1 / 2)                        | Выгрузка (2 / 4)                                  | 401                                 | 11 / 0                                                       |
| Путь 2            | –                                       | –                                                 | –                                   | 8 / 13                                                       |
| Путь 3            | –                                       | –                                                 | –                                   | 8 / 5                                                        |
| Путь 4            | –                                       | –                                                 | –                                   | 8 / 0                                                        |
| Путь 5            | –                                       | –                                                 | 402                                 | 30 / 0                                                       |

**Рис. 2.** Фрагмент информационного слоя программного продукта для ЭВМ «Работа маневровых локомотивов на станционных и подъездных путях»

Информационный слой (рис. 3) характеризует загрузку и техническое состояние маневровых локомотивов, а именно:

- технические и эксплуатационные характеристики маневровых локомотивов;
- фактический статус реализации наряд-заданий на производство маневровой работы;
- загрузка маневровых локомотивов (количество переработанных вагонов) в режиме фактического времени и за отчетный период (итоговый результат);
- анализ и контроль выполнения текущего плана маневровой работы [5].

Информационный слой (рис. 4) отображает в реальном режиме времени:

- место производств маневровой работы (СП / ПНП);
- номер маневрового локомотива, при этом номер имеет три цветовых маркера: зеленый – готов к производству работ, желтым – получен наряд-заказ на производство маневровой работы, красный – выполняет наряд-заказ или не может выполнять маневровую работу по техническим причинам);



- фактическое время работы локомотивной бригады;
- загрузка маневрового локомотива (количество переработанных вагонов);
- время начала / окончания технологической операции;
- время планируемой следующей технологической операции и норматив ее выполнения [5].

Электронный сервис маневровой работы

Электронный сервис маневровой работы

СТАНЦИЯ

Интерактивная схема станции, занятость путей

ИМЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Схема станции Работа маневровых локомотивов на станционных и подъездных путях Загрузка маневровых локомотивов Оптимизация использования

|                                                                                                    | ИМЯ И. И. (40451109) | ИМЯ И. И. (40451106)                          | ИМЯ И. И. (40451108) | ИМЯ И. И. (40451107) |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|----------------------|----------------------|--|
| Место производства работ                                                                           | п/п.Апротерг         | п/п.Металлобаза                               |                      |                      |  |
| Тип операции                                                                                       | Подъезд под выгрузку | Уборка вагонов на под.выгрузку                |                      |                      |  |
| Следующая тех. операция                                                                            | Уборка вагонов с п/п | перестановка вагонов с п.3 на п.4             |                      |                      |  |
| След. плановое место работ                                                                         | Станц. путь №3       | Станц. путь №4                                |                      |                      |  |
| Дата/время планового ТО-2                                                                          | 20.06.2024 20:00     | 21.06.2024 02:00                              |                      |                      |  |
| Тип состояния локомотива                                                                           | Готов                | Условно готов (неисправность тупой песочницы) |                      |                      |  |
| Количество переработанных вагонов за смену нараст. итогом. Загрузка локомотива (ручным / порожнем) | 42 / 12              | 18 / 32                                       |                      |                      |  |

Рис. 3. Фрагмент информационного слоя программного продукта для ЭВМ «Загрузка маневровых локомотивов»

Электронный сервис маневровой работы

СТАНЦИЯ

Интерактивная схема станции, занятость путей

ИМЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Схема станции Работа маневровых локомотивов на станционных и подъездных путях Загрузка маневровых локомотивов Оптимизация использования

Маневровые локомотивы РЖД

Маневровые локомотивы собственники

Наилучший вариант использования маневрового локомотива для выполнения наряда-заказа по обслуживанию ТЭП (3-часовой период)

ТЭП1БДМ (06242)

| Параметр                                                                       | Значение            |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Место производства работ                                                       | п/п.Металлобаза     |
| Тип операции                                                                   | Уборка вагонов с ПП |
| Следующая тех. операция                                                        | Отцепка вагонов     |
| След. плановое место работ                                                     | ст.путь №4          |
| Дата/время планового ТО-2                                                      | 19.06.2024 02:00    |
| Тип состояния локомотива                                                       | Готовый             |
| Количество переработанных вагонов за смену нараст. итогом. Загрузка локомотива | 36                  |
| Расстояние УВГП                                                                | 6 км                |
| Планируемое время окончания тех. операции                                      | 15:25               |
| Время планируемый след. тех. операции                                          | 16:00               |
| Время бригады                                                                  | 0200                |

Рис. 4. Фрагмент информационного слоя программного продукта для ЭВМ «Оптимизация использования»

Основными функциями программного продукта является формирование наиболее эффективного варианта использования ОПМЛ при организации выполнения наряд-заказа с учетом принятых критериев и интеграция электронных данных в информационные системы для последу-

ющего построения оперативных планов эксплуатационной работы СП и ПНП с глубиной планирования до трех суток.

Программный продукт для ЭВМ «Электронный сервис маневровой работы (ЭС МР)» прошел государственную регистрацию. Данный программный продукт разработан не как экзотическая инновационная система (единичный авторский продукт), а как комплекс, организующийся с реальной производственной практикой, соединимый с нею и органично изменяющий ее.

#### *Библиографический список*

1. Ефремов, Г. А. Интеллектуальное диспетчерское управление на новых полигонах. Реализация управляющих функций ИСУЖТ / Г. А. Ефремов, А. П. Ефремова. – Текст : непосредственный // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2015): труды Четвёртой научно-технической конференции с международным участием (18 ноября 2015 г., ОАО «НИИАС», Москва, Россия). – С. 6–9.

2. Бездушный, А. А. Математическая модель системы интеграции данных на основе онтологий / А. А. Бездушный. – Текст : непосредственный // Вестник Новосибирского государственного университета. Сер.: «Информационные технологии». – 2018. – Том 6, № 2. – С. 15–40. – ISSN 1818-7900.

3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 16.07.2012 № 1415р «Об утверждении Инструкции по оперативному планированию поездной и грузовой работы в ОАО «РЖД». – URL : <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 21.09.2024). – Текст : электронный.

4. Сирина, Н. Ф. Анализ влияния внешних и внутренней систем на пропускную способность участков железных дорог Восточного полигона / Н. Ф. Сирина, А. Г. Сахаров. – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 119–125. – ISSN 0201-727X.

5. А. с. 2024669771 Российская Федерация. Электронный сервис маневровой работы (ЭС МР) / Р. В. Кунаков, Н. А. Шамина, А. Е. Нескормных [и др.]. – № 2024668884; заявл. 12.08.2024; опубл. 21.08.2024. – Текст : непосредственный.

**А. Н. Иванков**

ООО «ПСК ТехПроект»,  
г. Москва, Россия

**М. В. Четчуев**

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

## **О ПРОБЛЕМАХ УЧЁТА ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

*В статье изложен краткий исторический обзор проблематики учёта перспективы развития железнодорожных станций и узлов. Из приведённого обзора можно заключить, что наиболее важные и актуальные факторы, влияющие на возможность дальнейшего развития железнодорожные станций и узлов, были сформулированы ещё в XIX веке, однако на практике далеко не всегда доходили до реализации. Кроме этого, существующие типовые схемные решения по железнодорожным станциям и узлам в ряде случаев не обеспечивают возможность последующего беспрепятственного развития. Применительно к участковым станциям приведены рекомендации по совершенствованию типовых схем с учётом постепенного усиления путевого развития.*

*Ключевые слова: железнодорожная станция, перспектива развития, схемные решения, стеснённая территория, минимизация строительных затрат, непроизводительные простои.*

Проблема развития железнодорожных станций и узлов является одной из актуальных в настоящее время. Высокая стоимость реконструктивных мероприятий в ряде случаев дополнительно осложняется отсутствием необходимых территорий под укладку новых устройств железнодорожной инфраструктуры, сложными местными условиями, нехваткой соответствующих строительно-монтажных подразделений и другими факторами.

Следует отметить, что несмотря на свою актуальность, рассматриваемая проблема не нова. Ещё в период с середины XIX до начала XX века инженеры и учёные отмечали, что проекты железнодорожных станций следует разрабатывать с учётом перспективы дальнейшего развития, в том числе предусматривать соответствующее бронирование достаточной территории и сопутствующее размещение зданий, устройств и других капитальных сооружений [1–3]. Вопросы необходи-

мости обязательного учёта перспективы развития железнодорожных станций и узлов были затронуты и первых профильных нормативных документах – Технических условиях проектирования станций для дорог нормальной колеи, выпущенных в 1926 и 1933 годах [4, 5]. В целом XX век можно охарактеризовать достаточно интенсивным развитием науки о железнодорожных станциях и узлах. Именно в это период были сформированы основные типовые схемные решения по всем видам железнодорожных станций. Вместе с этим, решение проблемы учёта дальнейшего развития железнодорожных станций и узлов, особого продвижения не получило, как минимум, на уровне принятых нормативных документов [6–9]. В начале XXI века вопросам проектирования железнодорожных станций и узлов с учётом перспективы развития снова стало уделяться пристальное внимание, о чём свидетельствуют и положения Правил и техническим норм проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм [10], и опубликованные результаты научных исследований [11–13].

Однако, несмотря на появление достаточно чётких нормативных указаний и рекомендаций по учёту перспективы развития железнодорожных станций и узлов, на протяжении большого периода существования отечественных железных дорог, на практике они практически не реализовывались. В лучшем случае решение проблемы сводилось к формальному отведению территории, которая в последующем застраивалась другими объектами, ограничивая тем самым, возможность дальнейшего развития самой железнодорожной станции.

Следует рассмотреть и обстоятельство, что ряд сложностей в учёте дальнейшего развития вызывают и сами типовые схемные решения по железнодорожным станциям и узлам, особенно участковым, которые в большинстве своём изначально не предусматривают дальнейшего развития без существенных переустройств. В качестве примера можно разобрать типовые схемы участковых станций, встречающиеся в современных учебных изданиях, таких как [14].

Непосредственно сами типовые схемные решения участковых станций были разработаны в середине XX века и до настоящего времени принципиальных изменений не претерпели. Вместе с этим, следует учесть, что размеры грузового движения по двухпутным линиям в период разработки этих схем, как правило, не превышали 60–70 пар поездов в сутки. При таких размерах движения, было вполне реализуемо производить смену поездного локомотива у грузовых поездов нечётного направления (согласно типовым схемам участковых станций продольного и полупродольного типа) с пересечением главных путей. В настоящее

время, когда размеры грузового движения на некоторых направлениях, например, на Транссибирской магистрали, превышают 100 пар грузовых поездов в сутки, указанная технология смены поездных локомотивов практически не реализуема.

Выходом из сложившейся ситуации является обустройство специальных ходовых путей с пресечением ими главных путей в разных уровнях. Обустройство подобных путей может быть выполнено со строительством петлевой развязки, как показано на рис. 1, или с сооружением тупиковых путей для смены локомотивов, как показано на рис. 2.

Исходя из того, что специализированные ходовые пути будут использоваться исключительно для пропуска поездных локомотивов, в плане допускается их искривление радиусами до 300 м. Это позволит обеспечить компактность решений по обустройству указанных ходовых путей и создаёт хорошие возможности для их реализации не только при новом строительстве, но и при реконструкции существующих участковых станций, находящихся в стеснённых условиях.

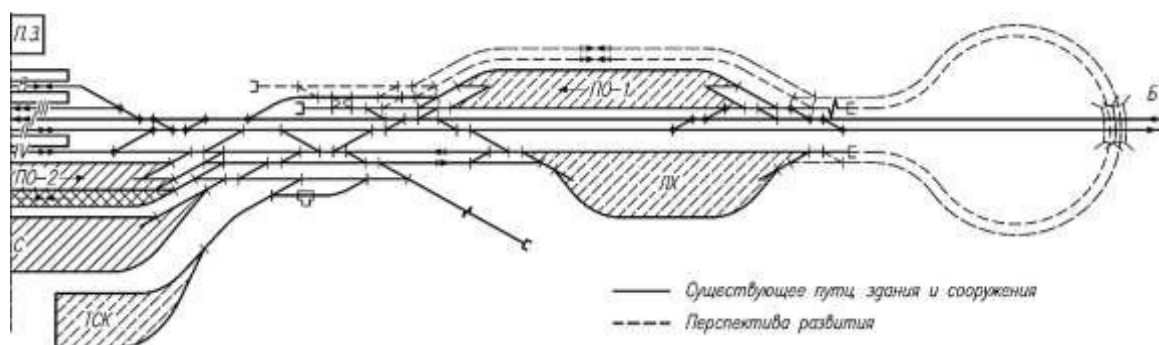


**Рис. 1.** Схема участковой станции с учётом строительства петлевой путепроводной развязки в нечётной горловине

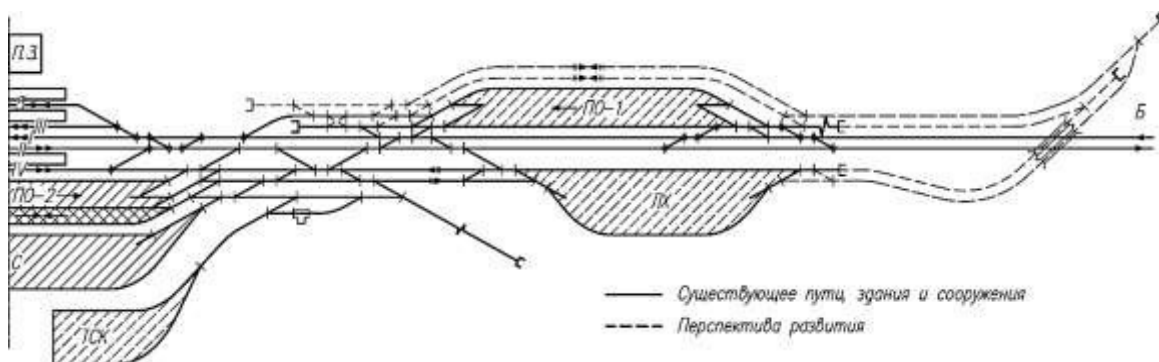


**Рис. 2.** Схема участковой станции с учётом строительства в нечётной горловине путепроводной развязки с тупиковыми путями



Безусловно, в сравнении с имеющимися типовыми аналогами, представленные схемы участковых станций (см. рис. 1–2) потребуют больших капитальных вложений на укладку путей и стрелочных переводов, устройство контактной сети на электрифицированных линиях, а также строительство дорогостоящих путепроводных развязок. Кроме этого, увеличатся и эксплуатационные расходы, связанные, как с содержанием постоянных устройств инфраструктуры, так и с пробегами одиночных локомотивов. Однако, при всех этих недостатках, приведённые на рис. 1–2 схемы позволяют минимизировать, а в ряде случаев и вовсе исключить непроизводительный простой поездных локомотивов в ожидании смены, и как следствие, непроизводительные простои поездов на путях железнодорожных станций, решая тем самым, одну из актуальных проблем.

Следует рассмотреть и ситуацию с существующими узловыми участковыми станциями, когда ожидается рост размеров движения, требующий увеличения имеющегося количества путей в приёмootправочных парках. В этом случае для развития железнодорожной станции, особенно приёмootправочного парка для поездов чётного направления (согласно типовой схеме), потребуется масштабное переустройство основной части путевого развития, которое будет крайне дорогостоящим, а в условиях плотной зажатости станции застройками, практически нереализуемым. Выходом из этой ситуации может стать строительство нового приёмootправочного парка и специализация приёмootправочных парков чётного направления по подходам. Пример обустройства указанного приёмootправочного парка показан на рис. 3. Наиболее рациональным решением является размещение нового приёмootправочного парка параллельно локомотивному хозяйству, однако следует сразу же исходить из того, что в данном месте имеется необходимый резерв территории.

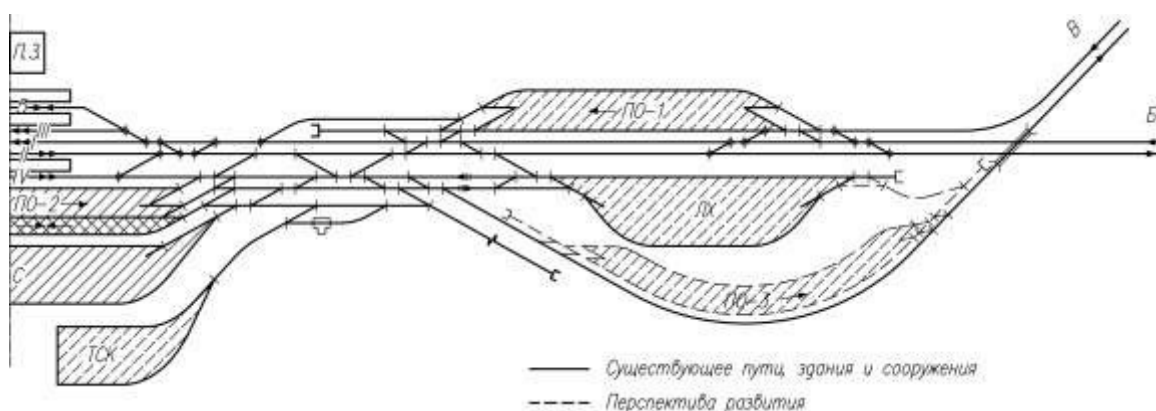


**Рис. 3.** Схема участковой станции  
с устройством дополнительного приёмootправочного парка

Как видно из рис. 3, предусматривается разделение специализации между существующим парком «ПО<sub>2</sub>» и новым парком «ПО<sub>3</sub>». Парк «ПО<sub>2</sub>» будет ориентирован на работу с поездопотоком, следующим в направлении «Б», при этом сохраняется возможность обработки некоторых поездов, следующих в направлении «В». Новый приёмоотправочный парк «ПО<sub>3</sub>» предусматривается использовать для работы с поездопотоком направления «В». Для организации возможности смены локомотива в предложенном схемном решении имеются специальные соединительные пути и тупиковый путь.

В целом, если рассматривать возможность развития участковых станций в связи с ростом размеров движения, то в условиях их зажатости застройками, вариант обустройства ещё одного парка на новом свободном месте является весьма целесообразным. Одним из случаев, когда может потребоваться подобное развитие, является примыкание новой железнодорожной линии. Пример подобного развития участковой станции с обустройством нового парка приведён на рис. 4.

Как видно из рис. 4, имеющаяся на начальном этапе схема участковой станции поперечного типа фактически превращается в схему участковой станции продольного типа. Специализация парков предусматривается соответствующая: парк «ПО<sub>2</sub>» – для обработки грузовых поездов чётного направления, а парк «ПО<sub>1</sub>» – для обработки грузовых поездов нечётного направления. Для исключения враждебных пересечений маршрутов смены поездных локомотивов нечётных грузовых поездов и маршрутов следования поездов по главным путям в центральной горловине станции предусматриваются два специализированных ходовых пути в разных уровнях с главными путями.

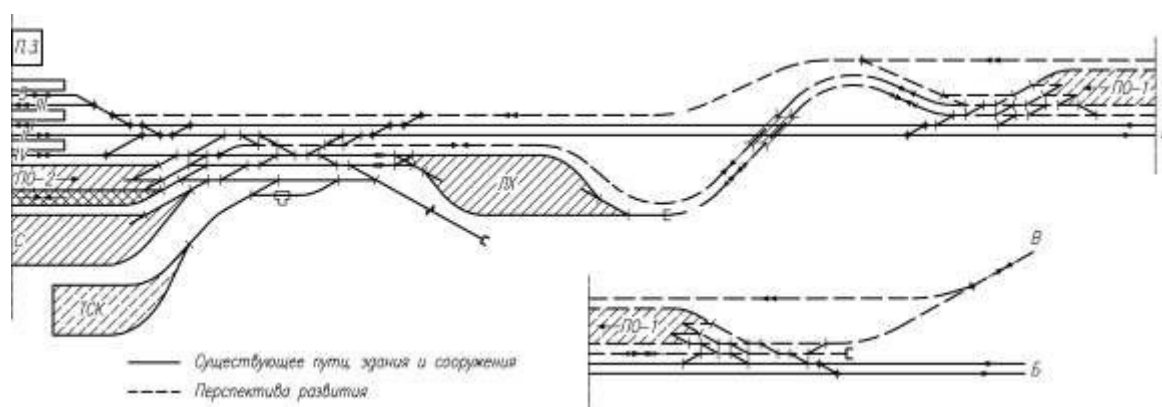


**Рис. 4.** Схема участковой станции с устройством дополнительного приёмоотправочного парка в связи с примыканием новой линии

Помимо увеличения количества путей, одной из характерных проблем развития существующих железнодорожных станций является удлинение путей. Подобная проблема может возникнуть, например, при переходе на участке размещения железнодорожной станции на новую унифицированную длину поездов.

В случае с участковыми станциями, вопросы удлинения затрагивают целые парки. Наиболее рациональным решением в данном случае является развитие станции в центральной горловине, как показано на рис. 5. Данное решение будет сопряжено с кардинальным переустройством имеющегося там путевого развития. Однако, с учётом того, что именно в этом месте развитие пойдёт преимущественно по территории, уже занятой железнодорожной инфраструктурой, прирезка дополнительных территорий будет минимально необходимой.

Как видно, из представленного решения, при переустройстве по предложенной схеме в центральной горловине будет обеспечена возможность одновременного выполнения четырёх операций:

- отправление грузового поезда в направлении «В»;
- смена поездного локомотива у чётного грузового поезда;
- отправление грузового поезда в направлении «Б»;
- манёвры по перестановки вагонов с использованием вытяжного пути между парком «С» и грузовым районом.

Отдельное внимание следует обратить на обустройство ходового пути в локомотивное хозяйство под путепроводной развязкой. С целью избежания последующего переустройства путепровода, резерв места под этот ходовой путь нужно заложить уже на этапе строительства этой развязки.

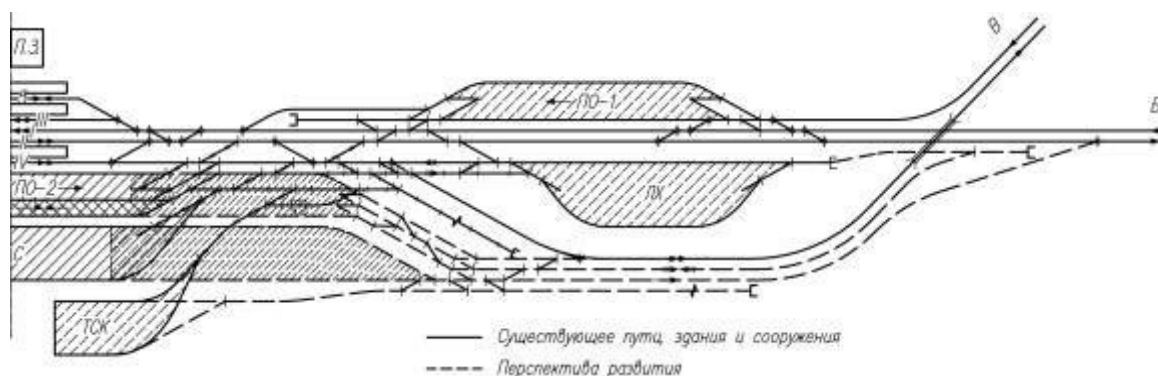


**Рис. 5.** Схема участковой станции с удлинением путей чётного приёмootправочного и сортировочного парков

Из материалов статьи можно заключить, что проблема учёта перспективы дальнейшего развития характерна для многих железнодорожных станций и узлов. Для большинства станций эта проблема связана с отсутствием резерва необходимой для развития территории, однако, в случае с участковыми станциями отдельное внимание следует обратить и на проблему недоработанности существующих типовых схемных решений. В статье предложено пять схем участковых станций, предусматривающих их перспективное развитие в различных условиях. Предложенные схемы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к участковым станциям, обеспечивают возможность дальнейшего развития, в ряде случаев даже в стеснённых условиях, и могут быть рекомендованы для последующего рассмотрения в качестве типовых.

*Библиографический список*

1. Карейша, С. Д. О проектировании расположения путей и зданий на станциях железных дорог / С. Д. Карейша. – Санкт-Петербург : Типография Ю. Н. Эрлих, 1902. – 23 с. – Текст : непосредственный.
2. Рерберг, И. Ф. Правила для расположения путей, зданий и прочих принадлежностей при проектировании станций железных дорог / И. Ф. Рерберг. – Санкт-Петербург, 1868. – 28 с. – Текст : непосредственный.
3. Никитин, В. Д. Отечественная наука о развитии железнодорожных станций и узлов / В. Д. Никитин. – Текст : непосредственный // Очерки развития железнодорожной науки и техники. – Москва : Трансжелдориздат, 1953. – С. 268–286.
4. Технические условия проектирования станций для дорог нормальной колеи. – Москва : Транспечать, 1926. – 39 с. – Текст : непосредственный.
5. Технические условия проектирования станций для дорог нормальной колеи. – Москва : Транспечать, 1933. – 128 с. – Текст : непосредственный.
6. Технические указания на проектирование станций и узлов [утверждены Министром путей сообщения 24 ноября 1947 г., № 8472]. – Москва : Трансжелдориздат, 1948. – 124 с. – Текст : непосредственный.
7. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах нормальной колеи [утверждены Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства 28 октября 1953 г.]. – Москва : Трансжелдориздат, 1954. – 119 с. – Текст : непосредственный.

8. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах общей сети Союза ССР: ВСН 56-61 [утверждены МПС СССР и Министерством транспортного строительства СССР]. – Москва : Трансжелдориздат, 1961. – 151 с. – Текст : непосредственный.

9. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза СССР: ВСН 56-78 / Министерство транспортного строительства СССР, Министерство путей сообщения СССР. – Москва : Транспорт, 1978. – 175 с. – Текст : непосредственный.

10. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм: ЦД-858 [утверждены Министерством путей сообщения РФ 28 июля 2000 г.]. – Москва : Техинформ, 2001. – 253 с. – Текст : непосредственный.

11. Иванкова, Л. Н. Совершенствование схем и технологии работы решающих технических и грузовых станций восточного полигона / Л. Н. Иванкова, А. Н. Иванов, Л. В. Куныгина. – Текст : непосредственный // Современные подходы к управлению на транспорте и в логистике : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – 2016. – С. 52–56.

12. Обоснование этапности развития горловин железнодорожных станций : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: специальность 05.22.08: защищена 21.12.2012 / М. В. Четчуев ; научный руководитель Ю. И. Ефименко ; ПГУПС. – Защищена 21.12.2012. – Санкт-Петербург, 2012. – 176 с. – Текст : непосредственный.

13. Обоснование рациональной этапности развития железнодорожных станций и узлов при наличии ограничений : статья / Ю. И. Ефименко, П. К. Рыбин, М. В. Четчуев. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2013. – Вып. 4 (37). – С. 25–30.

14. Апатцев, В. И. Железнодорожные станции и узлы : учебник / В. И. Апатцев, С. П. Вакуленко, А. К. Головнич, Ю. О. Пазойский, П. К. Рыбин. – Москва, 2024. – 692 с. – Текст : непосредственный.

15. Дмитренко, А. В. Установление среднего веса грузовых поездов в зависимости от весовой нормы при ограниченной длине станционных путей / А. В. Дмитренко, Л. И. Пушкарева, Е. А. Ларченко. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2 (65). – С. 20–29.



*Д. А. Кондакова, Е. С. Злодеева, Н. В. Эрлих*  
*Приволжский государственный университет путей сообщения,*  
*г. Самара, Россия*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА**

*В статье рассматриваются специфические аспекты современного подхода к организации работы контейнерного терминала в условиях обработки грузов на железной дороге. Целью статьи является демонстрация повышения объёмов обрабатываемых грузов и улучшения общей эффективности грузоперевозок после соответствующих организационных мероприятий. Подчёркнуто обоснование и необходимость использования комплексного подхода для грамотной организации работы терминала.*

*Ключевые слова: контейнерный терминал, планировка, инфраструктура, управление перевозками, движение поездов, грузовая деятельность, коммерческая работа, автоматизация, информационные технологии.*

В тех случаях, когда требуется организовать работу контейнерного терминала, показатель его эффективности является ключевым фактором во всей современной логистике, поскольку именно от неё зависит бесперебойное передвижение грузов по всему миру. Поэтому при организации работы на столь сложном объекте не бывает мелочей, так как от продуманной планировки инфраструктуры до грамотного управления перевозками, включая также и коммерческую деятельность – каждый аспект играет важную роль в формировании общей картины эффективности терминала [2, 5, 6].

При организации территории терминала особенно важно разграничить её на отдельные функциональные зоны, выделив участки необходимой площади не только под приём и отправку контейнеров, но и под их обработку или хранение. Например, создание специализированных зон для проверки и таможенного оформления контейнеров, что в свою очередь позволяет ускорить весь процесс, связанный с необходимыми бюрократическими процедурами и избежать задержек движения товаров в целом. Подобный подход особенно актуален для скоропортящихся товаров или продукции требующей особых условий хранения и транспортировки, при этом необходимо подчеркнуть, что необходимо заранее предусмотреть зоны для контейнеров содержащих опасные грузы, поскольку в этих случаях требуются дополнительные меры без-

опасности, благодаря чему происходит не только обеспечение соответствия всем нормативным требованиям, но и защита окружающей среды от потенциальных проблем связанных с подобным грузом [4, 6, 7].

Важнейшим элементом терминальной инфраструктуры является грамотное и продуманное проектирование транспортных путей, при этом размещение дорог и подъездов должно обеспечивать свободное и безопасное движение как грузового, так и погрузочно-разгрузочного транспорта. Современная промышленность в совокупности с индустрией информационных технологий выпускают огромное разнообразие вспомогательного оборудования, в частности системы управления трафиком, такие, к примеру как интеллектуальные светофоры и датчики движения, что существенно облегчает общий контроль за движением на территории термина, помогает избежать заторов и оптимизировать потоки транспорта на территории. Тем самым достигается не только снижение общего времени ожидания грузов клиентами, но и повышается пропускная способность терминала [1, 3].

Наряду с подъездными путями не менее важную роль в оптимальной организации работы терминала играет расположение железнодорожных путей, поскольку в тех случаях, когда пути обеспечивают прямой доступ к зонам обработки, время на необходимое маневрирование грузовых составов сокращается, а общая эффективность работы значительно повышается [2, 6].

Отдельное внимание следует уделять конструкции складских площадок, которые должны возводиться с прочным бетонным покрытием и чёткой разметкой мест хранения, что в целом упрощает работу персонала и повышают скорость перемещения контейнеров, при этом следует заметить, что использование современных систем навигации внутри терминала, например RFID-меток на контейнерах, позволяет не только быстро отслеживать их местонахождение, но и при необходимости оптимизировать маршруты техники [5, 7].

Ещё одним важным аспектом инфраструктуры, которому следует изначально уделить внимание, является обеспечение достаточных площадей для будущего расширения и модернизации терминала, так как учитывая постоянный рост объёмов перевозок и постоянно изменяющиеся требования рынка, возможность оперативного увеличения складских зон или установки дополнительного оборудования становится существенным конкурентным преимуществом. Заложенное в изначальный план перспективное развитие инфраструктуры с учётом наиболее востребованных технологий, таких как автоматизированные складские системы или использование альтернативных источников энергии, позволит

терминалу оставаться современным и эффективным на протяжении достаточно длительного времени [1, 3, 5].

Вполне естественно, что обработка грузов, особенно контейнеров, невозможна без современного погрузочно-разгрузочного оборудования, которое напрямую влияет как на скорость, так и на качество проводимых работ, при этом в мире уже существуют терминалы, где внедрены автоматизированные крановые системы, к примеру такие как ASC (Automated Stacking Crane), которые способны работать круглосуточно без участия человека, что в целом не только снижает расходы на персонал, но и повышает производительность [5, 7].

Кроме того, для перемещения контейнеров внутри терминала, между различными зонами, в отдельных компаниях уже используются беспилотники AGV (Automated Guided Vehicles), что позволяет автоматизировать многие рутинные операции, в том числе снизить риски, связанные с так называемым человеческим фактором, тем самым повышается безопасность на терминале [1, 5].

Учитывая тот факт, что вся мировая общественность озабочена вопросами энергоэффективности и экологической безопасности, использование электропогрузчиков и кранов с гибридными приводами существенно снижает выбросы вредных веществ в атмосферу и способствует выполнению экологических стандартов. Уже сейчас, в некоторых терминалах устанавливают солнечные панели и системы рекуперации энергии, от которых запитываются батареи транспорта, работающего на электричестве, что позволяет частично обеспечивать энергопотребление за счёт возобновляемых источников и снижать негативное воздействие на природу [3, 7].

Ещё одним важным аспектом работы терминала, на который следует обратить внимание при организации его работы, следует назвать управление перевозками и движением поездов, поскольку только тесное сотрудничество с диспетчерскими службами железнодорожных операторов и совместное планирование расписания позволяет оптимизировать графики прибытия и отправления поездов. В практиках ведущих терминалов мира используется система ETA (Estimated Time of Arrival), которая благодаря обмену данными в реальном времени позволяет вносить изменения в действующее расписание и информировать всех заинтересованных участников о возможных изменениях. Подобный подход позволяет снижать простои и обеспечивает более равномерную загрузку терминала [4, 9, 10].

Если говорить о программном обеспечении современных систем управления терминалом, то в этой связи уместным будет внедрение си-

стемы TMS (Transportation Management System), основное назначение которой – обеспечивать интеграцию всех процессов, связанных с перевозками, что выражается как в отслеживании движения грузов и управлении текущими заказами, так и в планировании оптимальных маршрутов, в том числе эта система позволяет анализировать эффективность перевозок, что не только способствует снижению затрат, но и улучшает взаимодействие с клиентами а также повышает прозрачность всех проводимых терминалом операций [2, 8].

Совершенно очевидно, что любой терминал создаётся для получения прибыли, поэтому организация грузовой и коммерческой деятельности терминала тесно связана с удовлетворением потребностей клиентов и быстрой адаптацией к меняющимся рыночным условиям. В этой связи необходимо подчеркнуть, что разработка гибкой тарифной политики, учитывающей как текущие объёмы перевозок, так и ориентацию на долгосрочное сотрудничество, привлекает потенциальных клиентов и укрепляет отношения с существующими. В качестве примера можно привести тот факт, что предоставление скидок на хранение грузов при заключении годовых контрактов стимулирует клиентов планировать будущие перевозки именно через данный терминал [6, 9].

Как бы хорошо не функционировало оборудование терминала, необходимо чтобы о его существовании знал потенциальный клиент, поэтому чрезвычайно важно активно продвигать имеющиеся услуги терминала на рынке, в том числе участвовать в тематических выставках, конференциях и других отраслевых мероприятиях, при этом необходимо помнить, что регулярное обновление веб-сайта, публикация актуальной информации и взаимодействие через соцсети помогают привлекать внимание и укреплять имидж компании [3, 10].

Безусловным конкурентным преимуществом терминала следует назвать высокое качество обслуживания, что в том числе достигается за счёт регулярного обучения персонала и внедрения общепринятых международных стандартов качества, таких как ISO 9001. В этом же ряду следует выделить использование систем CRM, которые позволяют поддерживать высокий уровень сервиса, в частности оперативно реагировать на запросы, поступающие от клиентов через специализированные онлайн-порталы и горячие линии [2, 5, 8].

Как известно современная цифровизация нашего общества, равно как и сопутствующие ей технологии, играют все более значимую роль в жизни всей цивилизации, в том числе и в работе терминалов, что можно отразить следующим рядом примеров:

– после того как произошло внедрение систем отслеживания грузов, таких как Track & Trace, у клиентов появилась возможность в любой момент узнать местонахождение своего контейнера, тем самым повышается прозрачность всех процессов и доверие к терминалу [1, 4, 6];

– внедрение электронного документооборота через системы EDI (Electronic Data Interchange) не только существенно ускоряет обмен информацией, но и снижает количество ошибок, допущенных человеком [3, 7, 10];

– внедрение технологий ИИ и машинного обучения для прогнозирования спроса на различную глубину временных интервалов и оптимизации работы терминала, в частности, ретроспективное аналитическое изучение всего разнообразия данных о грузопотоках и прогнозируемых сезонных колебаниях позволяет более точно планировать ресурсы, избегать перегрузок и рационально распределять привлекаемый к работам на терминале персонал [1, 5, 9];

– использование современных антивирусов, систем предотвращения вторжений и регулярное обновление ПО минимизируют риски вероятных кибератак, что в целом обеспечивает доверие клиентов к надёжности систем терминала, а также повышает его репутацию и конкурентоспособность [6, 8].

В качестве примера практического применения описанных выше аспектов грамотной организации работы контейнерного терминала можно рассмотреть показатели функционирования терминала «Клещиха», которых находится в Новосибирской области и в виду морального устаревания используемых технологий был подвергнут глубокой модернизации, при этом сразу же отмечается положительный рост динамики объёмов обработки контейнеров, что нашло своё отражение на рис. 1.

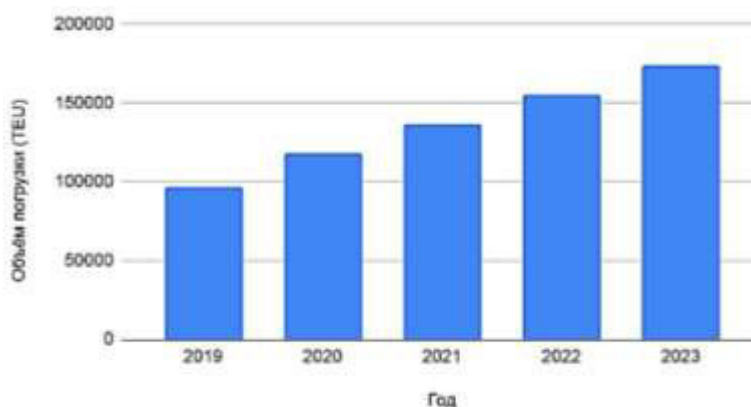


**Рис. 1.** Динамика объёмов погрузки контейнеров в терминале Клещиха (2019–2023 гг.), построена на основании данных из источника [11]



Исследование графика, отображённого рис. 1, позволяет обнаружить, что объём погрузки контейнеров стабильно увеличивается, при этом если в 2020 году рост объёма погрузки происходил преимущественно за счёт расширения терминальной инфраструктуры и увеличение складских площадей, то уже в 2021 году дальнейший рост объёмов происходил главным образом посредством внедрения современных способов обработки грузов. В целом можно обнаружить, что усреднённый показатель прироста составляет более 18000 TEU в год, что свидетельствует об очевидной эффективности проводимых мероприятий.

Более детальную картину роста производительности по отдельным показателям деятельности терминала удобнее всего изучать в относительных показателях, отражённых рис. 2.

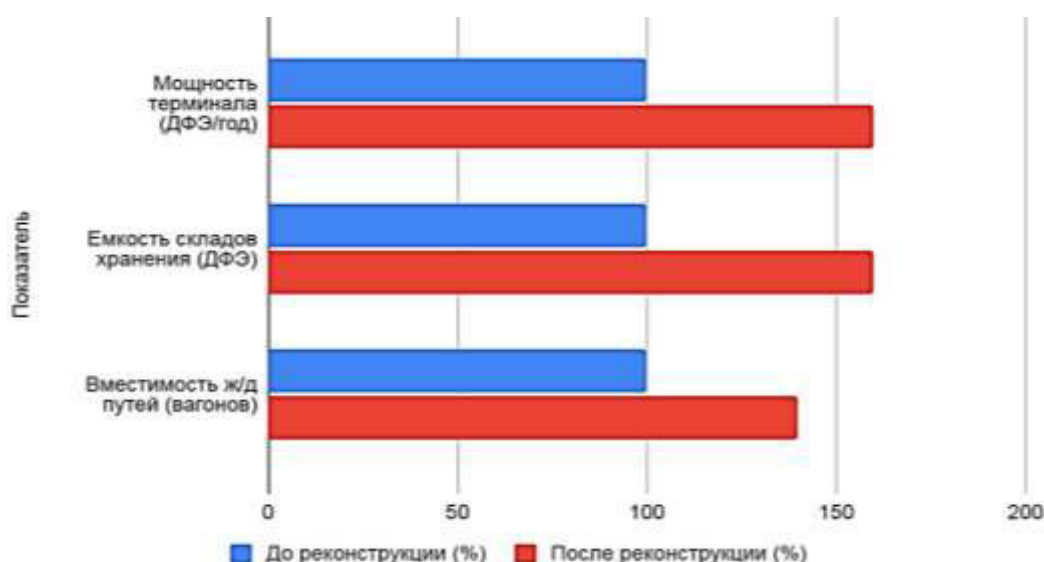


**Рис. 2.** Индексное сравнение показателей до и после реконструкции терминала «Клещиха», график построен на основании данных источника [11]

Из графика рис. 2 видно, что реконструкция терминала «Клещиха» значительно улучшила его производственные возможности, в частности расширение складских площадей в 2021 году привело к увеличению общей ёмкости хранения на 60 %, в то время как последующее внедрение современных перегрузочных механизмов в следующем году позволили нарастить мощность терминала ещё на 60 %, а дополнительное увеличение вместимости железнодорожных путей позволило одновременно обрабатывать составы больше изначальных на 40 %.

Таким образом, опираясь на все изложенное, можно прийти к совершенно логичному выводу о том, что успешная организация работы контейнерного терминала, по своей сути, представляет собой достаточно

сложный комплекс множества взаимосвязанных процессов и зависит от грамотного сочетания следующего ряда аспектов:

1) Продуманная инфраструктура, учитывающая наличие всех необходимых участков обработки грузов.

2) Разработка предварительного плана по дальнейшей модернизации действующего терминала ещё на стадии первичной организации его работы.

3) Эффективное управления перевозками, в том числе близкое сотрудничество с операторами, осуществляющими перевозки.

Постоянное стремление соответствовать изменяющимся рыночным требованиям, которое выражается не только во внедрении современных технологий и регулярном совершенствовании текущих процессов, но и в тесном сотрудничестве со всеми участниками логистической цепи, позволит терминалу обеспечивать высокий уровень удовлетворённости клиентов и экономическую целесообразность своего функционирования.

#### *Библиографический список*

1. Петрова, Е. Е. Анализ опыта автоматизации и роботизации операционных процессов контейнерного терминала / Е. Е. Петрова, В. В. Ганнесен. – Текст : непосредственный // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – № 78. – С. 178–190. – DOI 10.37890/jwt.vi78.439. – EDN SWMYMJ.

2. Васильев, Д. Повышение эффективности терминальной обработки и организации контейнерных поездов : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Дмитрий Васильев. – Самара, 2023. – 16 с. – EDN NZYBAP. – Текст : непосредственный.

3. Комбарова, Е. А. Организация контейнерных и контрейлерных перевозок. Цифровые технологии транспорта и логистики / Е. А. Комбарова, А. В. Лончакова, Н. В. Власова. – Текст : непосредственный // Цифровая экономика: проблемы и перспективы развития : сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 15 декабря 2023 года. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 209–216. – EDN OSBMDJ.

4. От сортировки вагонов – к сортировке контейнеров: организация работы контейнерных распределительных терминалов / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, А. М. Насыбуллин [и др.]. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2023. – № 6. – С. 356–359. – DOI 10.52375/20728689\_2023\_6\_356. – EDN ACAFET.

5. Басыров, И. М. Инновационная технология терминальной переработки контейнеров / И. М. Басыров, Д. И. Кочнева, Х. Чан – Текст :

непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 2 (54). – С. 108–116. – DOI 10.20291/2079-0392-2022-2-108-116. – EDN NSMHZI.

6. Выбор схемы организации работы контейнерного терминала / Я. Я. Эглит, К. Я. Эглите, М. А. Шаповалова, К. А. Кирносов. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2021. – № 6. – С. 144–147. – DOI 10.52375/20728689\_2021\_6\_144. – EDN WLROVF.

7. Соуза Да Круз Эдуардо. Системы обработки контейнеров на терминалах / Соуза Да Круз Эдуардо, А. В. Палий, Р. И. Попов. – Текст : непосредственный // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. – 2019. – № 2 (27). – С. 45–46. – EDN CVBKUF.

8. Гришкова, Д. Ю. Ранжирование клиентов контейнерного терминала в целях увеличения доли переработки контейнеров по «прямому» варианту / Д. Ю. Гришкова. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2023. – № 1 (77). – С. 106–115. – DOI 10.26731/1813-9108.2023.1(77).106-115. – EDN PMVTMH.

9. Эргашева, З. В. Методы оптимизации терминальной деятельности при организации контейнерного блок-трейна / З. В. Эргашева. – Текст : непосредственный // Интернаука. – 2024. – № 21-4 (338). – С. 21–25. – EDN LLWOVE.

10. Эргашева, З. В. Совершенствование технологии обработки контейнеров в составе блок-трейна по отправлению на станции примыкания железнодорожного терминала / З. В. Эргашева, Ж. С. Баротов, Ф. К. Самиев. – Текст : непосредственный // Известия Транссиба. – 2023. – № 3 (55). – С. 73–83. – EDN WSXGPG.

11. Реконструкция крупнейшего в Новосибирской области контейнерного терминала на станции Клешииха. – URL : <https://trans.ru/news/v-novosibirskoi-oblasti-rekonstruiruyut-krupneishii-v-regione-konteynernii-terminal-na-stantsii-kleschiha> (дата обращения: 08.10.2024). – Текст : электронный.

**А. А. Конюхова, П. С. Бурдяк**

*Сибирский государственный университет путей сообщения,  
г. Новосибирск, Россия*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ**

*Процесс скатывания отцепов в сортировочный парк характеризуется случайными параметрами движения отцепов. Контроль скорости отцепа – важнейшее условие безопасности процесса сортировки и качества заполнения путей сортировочного парка, что, в свою очередь, влияет на процесс накопления вагонов и объём работы по повторной переработке, количеству осаживаний вагонов в парке для ликвидации «окон» между вагонами.*

*В настоящее время основным способом контроля скорости входа отцепов в сортировочный парк является использование механизированных парковых тормозных позиций, а также немеханизированных тормозных позиций с ручным трудом в опасной зоне движения отцепов.*

*Ключевые слова: сортировочная горка, парковая тормозная позиция, накопление вагонов, скатывание отцепов, сортировочные пути.*

Регулирование скорости движения отцепов при скатывании с сортировочной горки на немеханизированных тормозных позициях осуществляет регулировщик скорости. В заданных условиях размещения тормозной позиции и башмако-сбрасывателей его задача своевременно укладывать тормозные башмаки под колеса скатывающегося отцепа для замедления движения вагона или группы вагонов (отцепа). Для укладки тормозных башмаков используют специальную металлическую вилку (рис. 1). С помощью такой технологии регулирования скорости движения отцепа, удастся снизить скорость, однако результат имеет случайное значение, ввиду ряда факторов: количество вагонов в отцепе, состояние пути, климатические условия, выбор места укладки тормозного башмака и длины юза вагона. В таких условиях скорость движения отцепа может превышать допустимую или быть меньше необходимой для проследования вглубь парка, в том числе создается риск преждевременной остановки отцепа в начале парка.

Как показывает анализ производственного травматизма, одним из наиболее опасных остается труд составителей поездов, регулировщиков скорости и сигналистов. По статистике, на них приходится око-

ло 40 % допускаемых несчастных случаев, остальные 60 % на работников других хозяйств.



**Рис. 1.** Регулировщик скорости движения вагонов  
в опасной зоне парковой тормозной позиции

Работа регулировщиков сопряжена с опасностью нахождения в близости неуправляемого движения подвижного состава. В этом можно убедиться в момент роспуска вагонов, когда с горки отцепляют сразу несколько вагонов назначением на разные пути сортировочного парка. Для выполнения работы по ручному торможению отцепов регулировщику, приходится быстро перемещаться вдоль пути и с пути на путь, одновременно воспринимать необходимую информацию, реагировать надвигающийся отцеп, слышать указания по парковой связи, а также на сигналы, подаваемые составителями, машинистами локомотивов и т.п. В зимних условиях добавляются условия, связанные с низкими температурами, инеем, снегом и наледью.

Для повышения надежности процесса торможения отцепов на немеханизированных тормозных позициях и для обеспечения безопасности предлагается заполнитель из вспененного полиуретана высокой плотности (рис. 2).

При входе отцепа со скоростью менее 5 км/ч допустимой материал создает минимальное воздействие, не создавая дополнительного сопротивления движению. На рис. 3 представлена схема спускной части горки, и предлагаемое место размещение устройства.



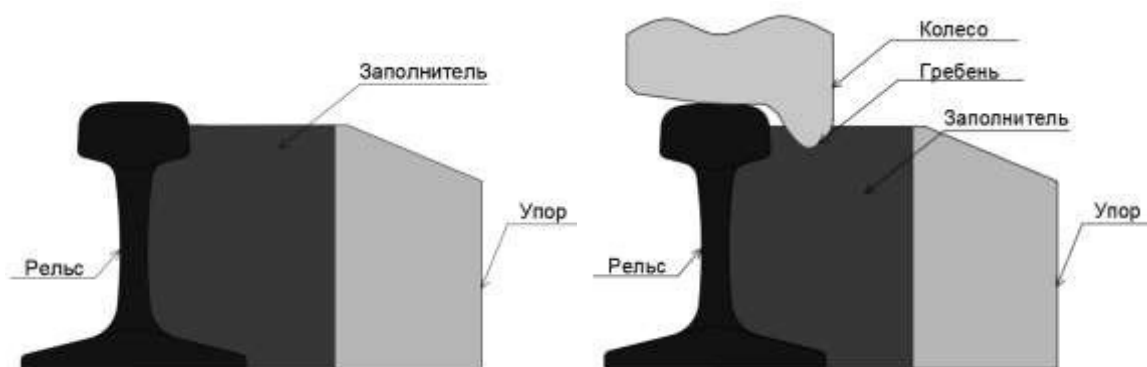


**Рис. 2.** Модель использования вспененного полиуретана высокой плотности на немеханизированных тормозных позициях



**Рис. 3.** Спускная часть сортировочной горки

Такой эффект «умного» воздействия на колеса вагонов может быть достигнут за счет подбора материалов, которые при медленном сминании, накатывании гребня легко проминаются. При увеличении скорости воздействия материал не успевает плавно среагировать и промявшись упруго оказывает сопротивление в горизонтальном направлении.

Таким образом, устройство пропускает отцеп с допустимой скоростью и корректирует его скорость. На рис. 4 приведены энергии, которые имеет отцеп при скатывании на спускной части горки.

Материал имеет заданную плотность на основании расчетных параметров, которые создают условия упругого взаимодействия при входе отцепа на устройство. При скорости более установленной материал упруго сопротивляется гребню колесной пары и замедляет движение отцепа.

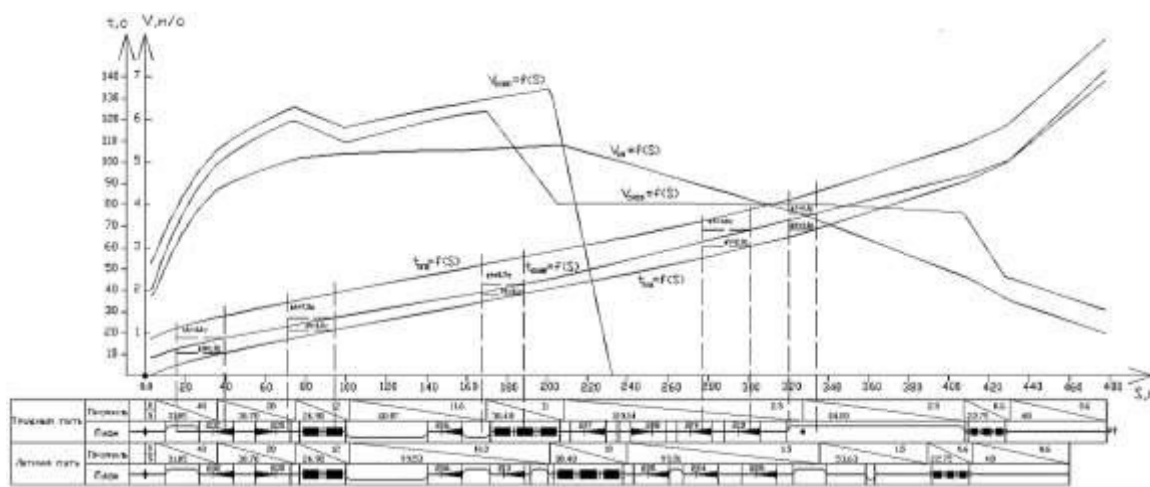


**Рис. 4.** Фазовые траектории скатывания расчётных бегунов

Преимущественно рассматривается в качестве заполнителя полиуретан, который имеет ряд важных преимуществ [4, 5]:

- высокая механическая прочность и износостойкость (устойчивость к воздействию ультрафиолета и большинства химических веществ, невосприимчивостью к поражению плесенью и другими микроорганизмами;
- широкий диапазон рабочих температур (устойчивостью к высоким (до +120 градусов) и низким (до -70 градусов) температурам, резким температурным перепадам) ;
- химическая стойкость к маслам и нефтепродуктам;
- влагостойкость;
- низкая теплопроводность.
- высокой эластичностью, способностью возвращать первоначальную форму после деформации;

Аналог решения присутствует в автомобильном транспорте в качестве альтернативы лежащего полицейского [6].

Минусами использования данного материала является:

- плохая стойкость к хлорсодержащим составам, ароматическим углеводородам и некоторым кислотам;
- ломкость при долгом нахождении в условиях низкой температуры;
- сложность утилизации и вторичной переработки.

Таким образом, применение полиуретана ограничивается только сложностью в его дальнейшей переработке.

Использование вспененного полиуретана высокой плотности на немеханизированных тормозных позициях позволит вывести из опасной зоны работников и сократить их штат, снизить расходы на очистку устройств от снега, повысить перерабатывающую способность сортиро-

вочной горки, а также сократить капитальные затраты и эксплуатационные расходы, на устройство тормозных парковых позиций в районе 3–5 млн руб. Экономический эффект может быть получен за счет снижения расходов на содержание штата сотрудников ОАО «РЖД» и повышения перерабатывающей способности сортировочных устройств.

Перспективой развития решения после реализации проекта является реализация технологии на всех станциях с парковыми тормозными позициями как замена, так и дополнение существующих средств контроля скорости отцепов.

Для реализации проекта требуется разработать программное обеспечение для моделирования движения отцепов в сортировочном парке, приобретение комплектующих для изготовления прототипа и впоследствии опытного образца. Расходы на сборку устройства и испытания. Расходы на специалистов в области проектирования сортировочных горок, железнодорожных устройств, и пр. По предварительным расчетам стоимость создания опытного образца составит 6 млн. руб.

#### *Библиографический список*

1. Романова, П. Б. Пути повышения эффективности работы сортировочного комплекса / П. Б. Романова, Н. А. Муковнина. – Текст : непосредственный // Сборник трудов Международной научно-технической конференции им. Леонардо да Винчи. – 2013. – Том 1. – С. 179–182.

2. Повышение экономической эффективности работы на сортировочных горках / С. П. Вакуленко, В. М. Федин, К. А. Чернышев, О. И. Коровкина. – Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2022. – № 2. – С. 68–73.

3. Шелухин, В. И. Повышение безопасности и эффективности работы сортировочных горок / В. И. Шелухин, А. Г. Савицкий, М. Ю. Акиннин. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 3. – С. 26–28.

4. Полиуретан: что это за материал, применение в строительстве и других сферах / m-strana.ru. – URL : <https://m-strana.ru/articles/poliuretan-chto-eto-za-material/>. – Текст : электронный.

5. Применение и свойства полиуретана / www.litoplast.by. – URL : <https://www.litoplast.by/blog/primenenie-i-svoystva-poliuretana/?ysclid=m2ke2cokux278239453>. – Текст : электронный.

6. Заполнитель желобов на железнодорожных переездах / 20.35 Университет. – URL : <https://pt.2035.university/project/zapolnitel-zelobov-na-zeleznodoroznyh-per.> – Текст : электронный.

**А. В. Матафонов**

*Уральский государственный университет путей сообщения»,  
г. Екатеринбург, Россия*

## **АНАЛИЗ ПАССАЖИРОПОТОКОВ В ЕКАТЕРИНБУРГСКОМ МЕТРОПОЛИТЕНЕ**

*Популярность и востребованность метрополитена наряду с другими видами пассажирского транспорта связана с его высокой скоростью движения, экологичностью, безопасностью и комфортабельностью. В Екатеринбурге метрополитен функционирует с 1991 года, количество станций в настоящее время – 9. Ежегодно метрополитен перевозит более 44 млн чел. Пассажиропоток на каждой станции имеет свою динамику, которая зависит от местоположения станции и наличия рядом других видов общественного транспорта. Количество и интенсивность движения пассажиропотоков определяет режим работы и количество подвижного состава для его обслуживания.*

*Ключевые слова: метрополитен, станции, пассажиропоток, перевозки.*

Екатеринбургский метрополитен представляет собой систему подземного железнодорожного транспорта, функционирующая в городе Екатеринбург, эксплуатируется муниципальным унитарным предприятием ЕМУП «Екатеринбургский метрополитен».

В настоящее время действует одна линия Екатеринбургского метрополитена с севера на юг города, включающая 9 станций. Общая длина сети – 12 км. Средняя скорость движения подвижного состава – 49,16 км/час. Проезд по линии от станции «Проспект Космонавтов» до станции «Ботаническая» занимает 19 минут, включая остановки на станциях.

За 2023 год объем перевозок составил 44 656 677 человек [1]. Схема существующей и перспективных линий Екатеринбургского метрополитена представлена на рис. 1.

На схеме темным цветом обозначена действующая линии, светлым цветом отмечены перспективные линии.

В составе метрополитена функционирует одно вагонное депо. Перевозки пассажиров осуществляются четырехвагонными составами. В настоящее время в эксплуатации находится 15 составов электропоездов по 4 вагона в каждом. Расчетная вместимость пассажиров для одного вагона составляет 308–330 человек, для четырехвагонного состава – 1276 человек.



Рис. 1. Схема линий Екатеринбургского метрополитена [1]

В структуру Екатеринбургского метрополитена входит 7 структурных подразделений: служба подвижного состава, служба движения, служба сигнализации и связи, служба электромеханическая, служба электро-снабжения, служба пути и тоннельных сооружений, ремонтно-механическая служба [2]. Общая списочная численность персонала на конец 2023 года – 1192 человека. Краткая история проектирования и строительства метрополитена в Екатеринбурге представлена в табл. 1.

Таблица 1

### Основные этапы развития Екатеринбургского метрополитена

| Этапы                                                           | Год    |
|-----------------------------------------------------------------|--------|
| Технико-экономическое обоснование Свердловского метрополитена   | 1960-е |
| Утвержден проект первой линии                                   | 1974   |
| Начало строительства                                            | 1980   |
| Ввод в эксплуатацию «Проспект Космонавтов» – «Машиностроителей» | 1991   |
| Открытие станции «Уральская»                                    | 1992   |
| Открытие станций «Динамо» и «Площадь 1905 года»                 | 1994   |
| Завершен котлован станции «Бажовская»                           | 1997   |
| Открытие станции «Геологическая»                                | 2002   |
| Открытие станции «Ботаническая»                                 | 2011   |
| Открытие станции «Чкаловская»                                   | 2012   |



Анализ пассажиропотока проводится с целью обоснования мероприятий по повышению эффективности и качества транспортного обслуживания населения. Анализ динамики пассажиропотока Екатеринбургского метрополитена. На рис. 2 приведены данные об изменении пассажиропотока метро с 2016 по 2023 год.

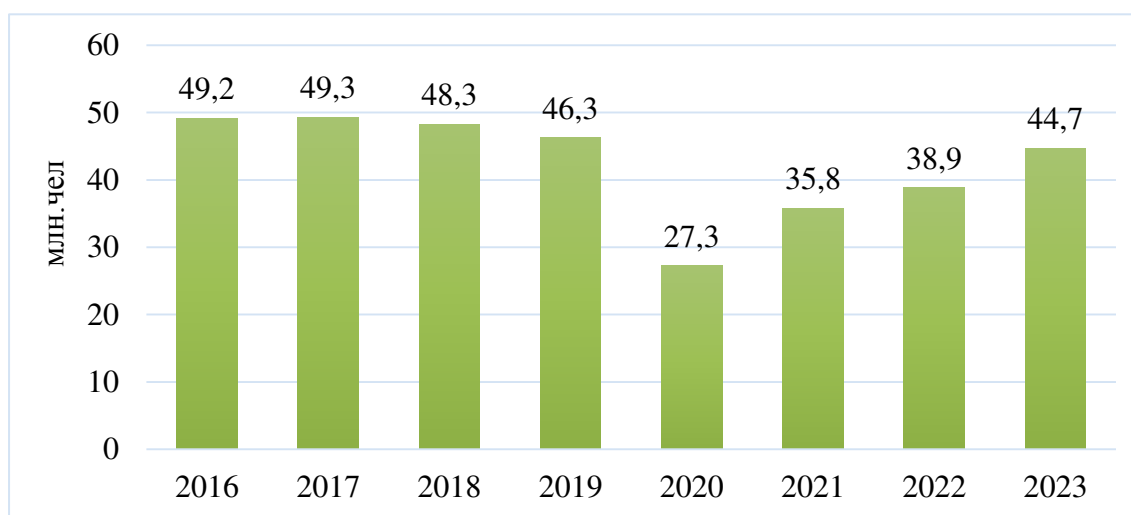


**Рис. 2.** Динамика пассажиропотока Екатеринбургского метрополитена, млн человек

За анализируемый период наибольшее значение наблюдается в 2017 году – 49,3 млн чел. Значительное сокращение пассажиропотока (-58,96 %) пришлось на 2020 год, что связано с ограничениями, введенными в период пандемии коронавируса. Однако с 2021 года началось восстановление деловой активности и в 2023 году объем пассажиропотока почти приблизился к уровню 2019 года.

Структура пассажиропотока в разрезе станций посадки представлена в табл. 2. Анализ структуры пассажиропотока показал, что наиболее популярными у пассажиров являются станции «Проспект Космонавтов» – 17,7 % пассажиропотока (это конечная станция, принимающая значительный поток пассажиров из городов-спутников), «Площадь 1905 года» (это центр города) – 14,7 % и «Ботаническая» – 14,3 %. Высокий пассажиропоток на станциях «Проспект Космонавтов» и «Ботаническая» объясняется тем, что это конечные станции метрополитена, расположенные в густонаселенных районах, кроме того в районе этих станций, как правило, осуществляется пересадка на другие виды транспорта в том числе на пригородные маршруты.

Таблица 2

**Структура пассажиропотока в разрезе станций посадки [1]**

| Станция метрополитена  | Доля пассажиров, % |
|------------------------|--------------------|
| «Проспект Космонавтов» | 17,7               |
| «Уралмаш»              | 9,7                |
| «Машиностроителей»     | 4,3                |
| «Уральская»            | 8,0                |
| «Динамо»               | 5,3                |
| «Площадь 1905 года»    | 14,7               |
| «Геологическая»        | 13,9               |
| «Чкаловская»           | 12                 |
| «Ботаническая»         | 14,3               |

Высокий пассажиропоток на станции «Площадь 1905 года», объясняется тем, что это центр города, где расположено большое число предприятий и компаний, учебных заведений и мест досуга и отдыха [5].

Однозначно Екатеринбургский метрополитен нуждается в расширении зоны обслуживания, и продления имеющейся линии движения, так как пассажиропоток является высоким и имеет тенденцию к росту. Уже имеются проекты по развитию метрополитена на ближайшую перспективу, возможно в скором будущем они будут реализованы.

*Библиографический список*

1. Екатеринбургский метрополитен : официальный сайт. – URL : <https://metro-ektb.ru/> – Текст : электронный.
2. Клементьев, Е. А. Развитие метрополитена в Екатеринбурге / Е. А. Клементьев. – Текст : непосредственный // Метро и тоннели. – 2021. – № 4. – С. 24–27. – EDN DNDSQC.
3. Модернизация метрополитена города Екатеринбурга / С. Андриянова, Л. Р. Валишина, К. П. Галкина, Т. С. Сониная. – Текст : непосредственный // Россия – Азия – Африка – Латинская Америка: экономика взаимного доверия : материалы X Евразийского экономического форума молодежи. В 3-х томах, Екатеринбург, 16–19 апреля 2019 года / Ответственные за выпуск Я. П. Силин, Р. В. Краснов, Е. Б. Дворядкина. – Том 3. – Екатеринбург : Уральский государственный экономический университет, 2019. – С. 91–93. – EDN GHOVPT.
4. Пассажиропоток в метро Екатеринбурга в январе вырос на 13 %. – URL : <https://www.kommersant.ru/doc/6495346>. – Текст : электронный.
5. Петрова, А. В. Формирование интеллектуальной транспортной системы в городских агломерациях / А. В. Петрова. – Текст : непосред-

ственный // Железнодорожный транспорт и технологии : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 29–30 ноября 2023 года. – Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 314–316. – EDN SHTWCG.

**А. Н. Неревяткина**  
Саратовский филиал

Приволжского государственного университета путей сообщения,  
г. Саратов, Россия

### **ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК: РОЛЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*В статье исследуется роль железнодорожного транспорта в эффективном управлении цепочками поставок. Анализируется влияние железнодорожного транспорта на сокращение времени доставки, снижение затрат и улучшение планирования и прогнозирования. Приводятся примеры успешного использования железнодорожных перевозок в различных отраслях, таких как автомобилестроение и сельское хозяйство. В заключение подчёркивается, что с развитием технологий и растущими экологическими требованиями роль железнодорожного транспорта в логистике будет только увеличиваться, открывая новые возможности для бизнеса и способствуя устойчивому развитию.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, цепочка поставок, логистика, мультимодальные перевозки, планирование, интеграция, технологические инновации, устойчивое развитие.*

**Введение.** В последние десятилетия управление цепочками поставок (ЦП) стало одним из наиболее обсуждаемых аспектов в бизнесе. В условиях глобализации, высокой конкуренции и растущих требований потребителей компании вынуждены искать новые способы повышения эффективности своих операций. Одним из ключевых компонентов эффективного управления ЦП является транспортировка, и в этом контексте железнодорожный транспорт занимает особое место. Данная статья исследует влияние железнодорожного транспорта на общую эффективность цепочек поставок, рассматривая его преимущества, современные технологии и примеры успешного использования.

Цепочка поставок представляет собой сложную сеть организаций, людей, технологий, ресурсов и информации, необходимых для создания

и доставки продуктов или услуг от производителя к конечному потребителю. Основные компоненты цепочки поставок включают:

- Поставщики: организации, которые предоставляют сырье и компоненты для производства.
- Производители: компании, которые преобразуют сырье в готовую продукцию.
- Торговые посредники: организации, которые занимаются распределением и продажей продукции.
- Транспортные компании: организации, обеспечивающие перемещение товаров между различными участниками цепочки.
- Потребители: конечные пользователи продукции.

Эффективное управление каждым из этих компонентов является критически важным для достижения высоких показателей производительности и удовлетворенности клиентов.

Железнодорожный транспорт обладает рядом уникальных преимуществ, которые делают его важным элементом цепочки поставок:

- Экономичность: Железнодорожные перевозки, как правило, дешевле автомобильных, особенно при больших объемах грузов. Это связано с высокой грузоподъемностью и низкими затратами на топливо.
- Экологичность: Железнодорожный транспорт выделяет меньше углекислого газа на тонну груза по сравнению с другими видами транспорта. В условиях растущих экологических требований и стремления к устойчивому развитию это становится важным фактором.
- Надежность: Железные дороги менее подвержены влиянию погодных условий и пробок, что обеспечивает более стабильные сроки доставки. Это особенно важно для компаний, которые работают в условиях жестких временных рамок.
- Безопасность: Железнодорожные перевозки имеют низкий уровень аварийности по сравнению с автомобильными, что снижает риски потерь и повреждений грузов.

Несмотря на свои преимущества, железнодорожный транспорт также имеет определенные ограничения:

- Географические ограничения: Железнодорожные маршруты не всегда доступны в нужных регионах, что может требовать дополнительных затрат на мультимодальные перевозки.
- Гибкость: Железнодорожный транспорт менее гибок по сравнению с автомобильным, что может ограничивать возможности быстрой реакции на изменения в спросе.

- **Инфраструктурные затраты:** Создание и поддержание железнодорожной инфраструктуры требует значительных инвестиций, что может быть проблематично для небольших компаний.

Одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность цепочек поставок, является время доставки. Железнодорожный транспорт, особенно в сочетании с другими видами перевозок, может значительно сократить сроки доставки. Например, использование мультимодальных маршрутов, которые включают железнодорожные и автомобильные перевозки, позволяет оперативно перемещать грузы между различными пунктами, сокращая общее время в пути.

Экономичность железнодорожных перевозок способствуют снижению общих логистических затрат. Это особенно актуально для отраслей, таких как производство, сельское хозяйство и строительство, где объемы перевозок могут быть значительными. Компании, использующие железнодорожный транспорт, могут оптимизировать свои затраты на логистику, что в конечном итоге отражается на ценах для конечных потребителей.

Современные технологии, такие как системы управления транспортом (TMS) и автоматизация процессов, позволяют компаниям более точно планировать маршруты и сроки доставки. Эти технологии помогают избежать задержек и оптимизировать запасы, что в свою очередь повышает общую эффективность цепочки поставок. Например, использование систем GPS для отслеживания грузов в реальном времени позволяет компаниям оперативно реагировать на изменения и корректировать свои планы.

Железнодорожный транспорт часто используется в сочетании с другими видами перевозок, такими как автомобильный и морской. Эта интеграция позволяет создать более гибкие и эффективные логистические решения. Например, контейнерные перевозки, которые комбинируют железнодорожные и морские маршруты, становятся все более популярными в международной торговле, позволяя компаниям оптимизировать свои операции и снижать затраты.

Крупные производители автомобилей, такие как Ford и General Motors, активно используют железнодорожный транспорт для доставки комплектующих и готовой продукции. Это позволяет им сократить время на логистику и оптимизировать затраты. Например, Ford интегрирует железнодорожные маршруты с автомобильными для доставки автомобилей к дилерам, что позволяет значительно сократить сроки поставки.

Сельскохозяйственные компании также начинают осознавать преимущества железнодорожного транспорта. Например, компании, занимающиеся производством зерна, используют железнодорожные пере-



возки для транспортировки продукции на большие расстояния. Это позволяет им сократить затраты на логистику и повысить конкурентоспособность.

Компании, такие как Maersk и DB Schenker, активно развивают свои железнодорожные сети, обеспечивая интеграцию с морскими и автомобильными перевозками. Это позволяет им предлагать клиентам более гибкие и эффективные логистические решения, что способствует росту международной торговли.

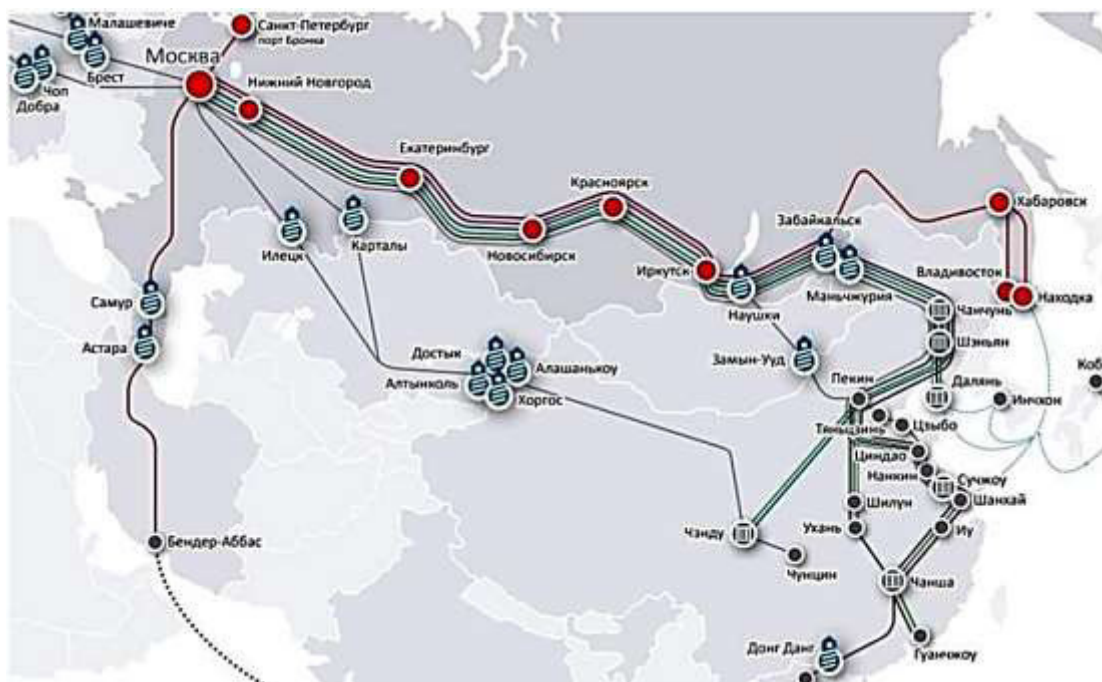


**Рисунок.** Основные экспортные маршруты, обслуживаемые АО «РЖД Логистика»

**Заключение.** Железнодорожный транспорт играет важную роль в эффективном управлении цепочками поставок. Его преимущества, такие как экономичность, надежность и экологичность, делают его незаменимым в условиях современного бизнеса. Интеграция железнодорожных перевозок в общую стратегию логистики позволяет компаниям не только сократить затраты, но и повысить качество обслуживания клиентов. В условиях растущей конкуренции и необходимости оптимизации процессов использование железнодорожного транспорта становится стратегически важным решением для многих организаций.

В будущем, с развитием технологий и увеличением экологических требований, роль железнодорожного транспорта в цепочках поставок, вероятно, будет только расти, открывая новые возможности для бизнеса и способствуя устойчивому развитию.

*Библиографический список*

1. Земцова, Е. М. Совершенствование организации логистики товаров: кейс торгового предприятия / Е. М. Земцова. – Текст : непосредственный // Вестник Челябинского государственного университета. – 2019. – № 7 (429). – С. 195–202. – DOI 10.24411/1994-2796-2019-10722. – EDN ZGUJMF.
2. Логистика и управление цепями поставок : учебник для среднего профессионального образования / под ред. В. В. Щербакова. – Москва : Издательство «Юрайт», 2019. – 582 с. – Текст : непосредственный.
3. Неруш, Ю. М. Транспортная логистика : учебник для вузов / Ю. М. Неруш, С. В. Саркисов. – Москва : Издательство «Юрайт», 2022. – 351 с. – Текст : непосредственный.
4. Петрова, А. В. Управление цепями поставок : учебное пособие / А. В. Петрова, А. В. Вохмянина. – Екатеринбург : УрГУПС, 2020. – 154 с. – Текст : непосредственный.
5. Карх, Д. А. Цепи, поставки и системы поставок / Д. А. Карх, Е. А. Тарасенко. – Текст : непосредственный // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2021. – № 2. – С. 22–28.

**В. А. Оленцевич, А. В. Старожилова**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

**ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО  
ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*С учётом современных политических и экономических международных, транспортных аспектов, решение вопросов, направленных на совершенствование железнодорожного транспортного законодательства в Российской Федерации, весьма актуально.*

*В своем исследовании авторы рассмотрели существующие возможности эффективного обеспечения законодательных вопросов оптимального функционирования железнодорожной транспортной системы и её структурных подразделений. Проанализировано Российское законодательство в железнодорожной сфере, что позволило внести предложения по совершенствованию законодательства в данном направлении. В качестве научной новизны можно выделить то, что, исходя из выявленных достоинств и недостатков железнодорожного*

*транспортного законодательства, авторы предприняли попытку выявления способов совершенствования законодательных актов.*

*Ключевые слова: железнодорожная транспортная система, обеспечение устойчивой работы, железнодорожное транспортное законодательство, способы совершенствования законодательных актов, единая транспортная система Российской Федерации, грузоотправитель, грузополучатель.*

**Введение.** Существование общей системы транспорта невозможно без железнодорожного сектора. Железнодорожные перевозки становятся неотъемлемой частью транспортно-логистических цепочек благодаря широкому выбору видов транспортировки и высокой проходимости. В нестандартных ситуациях, случаях рисков именно железнодорожный подвижной состав служит единственным вариантом для транспортировки грузов и пассажиров даже в условиях сложных климатических сценариев [1–4].

Деятельность железнодорожной транспортной системы и входящих в ее состав структурных подразделений и организаций, регулируется Федеральным законом о железнодорожном транспорте в Российской Федерации и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Данные документы предусматривают эффективное функционирование системы путем соблюдения ряда принципов: обеспечение устойчивой работы, доступности, безопасности, качества оказываемых услуг и сервисов; развитие конкуренции и становление развитого рынка услуг железнодорожного транспорта; согласованность функционирования единой транспортной системы Российской Федерации [4, 5]

В связи с данными факторами цель исследования предусматривает определение возможных путей развития железнодорожного транспортного законодательства. В соответствии с целью, поставлены следующие задачи:

- рассмотреть Российское законодательство в железнодорожной сфере;
- предложить пути совершенствования законодательства в данном направлении.

*Новизна исследования.* Исходя из выявленных достоинств и недостатков железнодорожного транспортного законодательства, предпринимается попытка выявления способов совершенствования законодательных актов в данной сфере.

Практическая значимость исследования проявляется в возможности создания новых механизмов улучшения законодательных актов в области железнодорожного транспорта.

**Вопросы обеспечения законодательства транспортной системы.**

Даже самый идеальный закон обретает смысл лишь в тот момент, когда его соблюдают. Обеспечение законодательства транспортной системы – это безукоризненное выполнение транспортного законодательства всеми субъектами, которые имеют отношение к транспортной системе.

На рис. 1 представлены основные законодательные акты, которые регулируют железнодорожную деятельность в России [6–9].

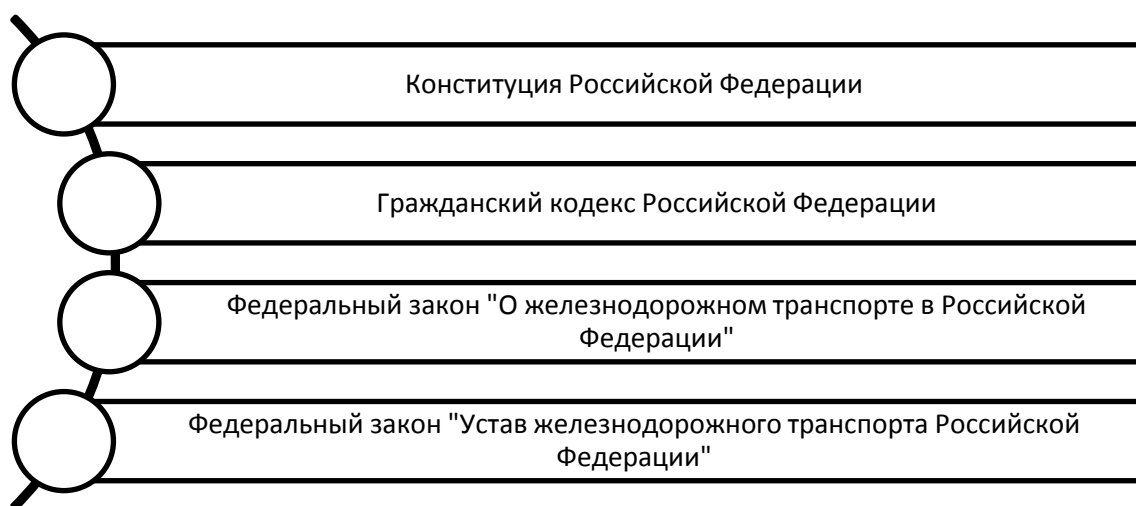


**Рис. 1.** Законодательные акты,  
регулирующие железнодорожную деятельность в России

Когда мы говорим о проблемах, связанных с железнодорожным транспортным законодательством со стороны грузоотправителей и грузополучателей, становится очевидным, что одним из ключевых аспектов является соблюдение условий перевозки груза. Ведь именно от того, насколько эффективно и надежно осуществляется транспортировка грузов, зависит безопасность и своевременность поставок.

В Федеральном законе от 10 января 2003 года № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» (УЖДТ РФ) [8] урегулированы нормы, касающиеся ответственности отправителя и получателя груза. Закон определяет обязанности сторон по соблюдению грузоподъемности вагонов, времени погрузки и разгрузки. Объектом договора является груз.

Согласно [2, 8] грузоотправитель несет комплекс ответственности, который представлен на рис. 2.

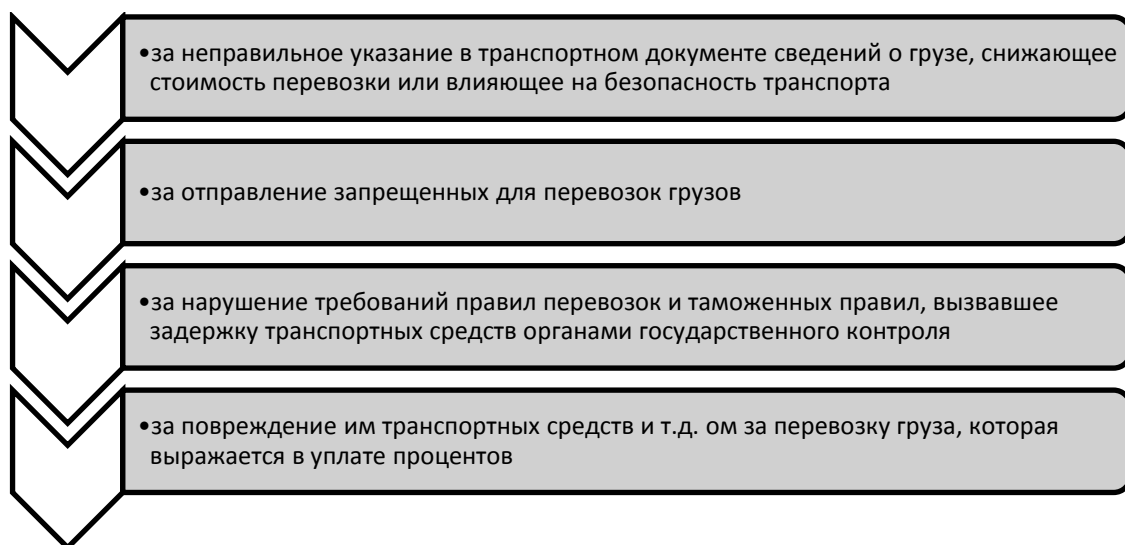


*Рис. 2.* Ответственность грузоотправителя

В соответствии со статьей 94 данного закона, при невыполнении заказа, грузоотправитель и грузополучатель находятся в равном положении. Санкции применяются к ним одни и те же. Если в процессе перевозки произошли убытки, то обе стороны несут ответственность.

В статье 116 рассматриваемого закона [2, 7] перечислены ситуации, когда грузоотправитель освобождается от ответственности:

- действия, против которых невозможно бороться;
- перевозчик имеет полное право самостоятельно прекратить перевозку, предварительно уведомив об этом письменно.

**Вопросы совершенствования железнодорожного транспортного законодательства в Российской Федерации.** В своем исследовании практики арбитражных судов, связанной с утратой или повреждением груза при перевозке по железнодорожному транспорту, С. В. Трофимова подчеркивает, что за любой причиненный ущерб обычно несут ответственность грузополучатели, в то время как грузоотправители остаются в стороне от данной проблемы [10–12].

В статье 94 УЖДТ РФ также говорится о том, что если грузоотправитель уведомит станцию заранее, не менее чем за двое суток до установленной даты отгрузки груза, и не сможет сдать груз в срок из-за отсутствия доступных транспортных средств, то размер налагаемого штрафа уменьшится втрое [2, 7].

При анализе проблем железнодорожного транспортного законодательства с точки зрения грузоотправителей и грузополучателей становится очевидно, что грузополучатель оказывается менее защищенной стороной по сравнению с грузоотправителем. Это происходит, потому



что грузоотправителя не беспокоит дальнейшая судьба груза, его задача – отправить груз. А грузополучатель, наоборот, заинтересован в сроках получения, месте. Получается, что на грузополучателе в основном ответственность выполнения договора.

Исходя из представленных результатов, предлагается улучшить положение грузополучателя в УЖДТ РФ. Необходимо изменить порядок заключения договора, учитывая, по чьей инициативе заключен договор: грузоотправителя или грузополучателя.

Совет Федерации также активно вовлечен в работу по улучшению железнодорожного транспортного законодательства. На рис. 3 изображены предложения Совета Федерации по совершенствованию законодательной базы в области железнодорожного транспорта.

---

В целях создания правового поля для выстраивания взаимоотношений между транспортными организациями, различными видами транспорта разрабатывается законопроект «О прямых смешанных (комбинированных) перевозках»

---

снять существующие законодательные ограничения модернизации транспортной инфраструктуры, автоматизации основных производственных процессов, прежде всего, на узловых сортировочных станциях

---

включение в договора на эксплуатацию железнодорожных путей необщего пользования и договора на подачу и уборку вагонов технологически обоснованного времени подачи и уборки вагонов.

---

возможность разработки и внесения в Правительство проекта федерального закона, предусматривающего ответственность операторов подвижного состава за несвоевременную подачу вагонов под погрузку, а также за подачу под погрузку неисправных вагонов.

---

**Рис. 3.** Предложения Совета Федерации  
по совершенствованию законодательной базы железнодорожного транспорта

ОАО «РЖД» предлагается рассмотреть вопрос о включении в свои информационные ресурсы, которые используются для поддержки рабочего процесса пользователей, информации о том, есть ли свободные вагоны в сети, причем как принадлежащие, так и не принадлежащие перевозчику.

В ходе анализа, становится ясно, что контроль над деятельностью железнодорожного транспорта в России осуществляется с применением ряда основных документов. Необходимо изменить порядок заключения

договора, учитывая, по чьей инициативе заключен договор: грузоотправителя или грузополучателя.

**Заключение.** Скорейшее решение вопросов совершенствования железнодорожного транспортного законодательства в Российской Федерации вызвано глобальным изменением современной политической и экономической обстановки в секторе международных и внутрироссийских транспортных рынков. С целью установления правовой основы для согласования взаимодействия между транспортными компаниями и различными видами транспорта, Министерством транспорта России разрабатывается законопроект под названием «О прямых смешанных (комбинированных) перевозках».

Авторы рассмотрели существующие возможности эффективного обеспечения законодательных вопросов оптимального функционирования железнодорожной транспортной системы, проанализировали Российское законодательство в железнодорожной сфере, что позволило внести предложения, направленные на выявление способов совершенствования законодательных актов.

#### *Библиографический список*

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. – Москва. – Текст : непосредственный.

2. Власова, Н. В. Совершенствование качества организации производственных систем железнодорожного транспорта путём внедрения эффективных средств механизации / Н. В. Власова, В. А. Оленцевич. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Том 1. – С. 106–109.

3. Olentsevich, V. A. Efficiency of implementation of interval traffic regulation by the "virtual coupling" system on the section of the railway line in the framework of the "digital railway" project / V. A. Olentsevich, A. A. Olentsevich, V. Y. Konyukhov, D. A. Lysenko. – Текст : непосредственный // В сборнике : Journal of Physics: Conference Series. 2020 International Conference on Information Technology in Business and Industry, ITBI 2020. BRISTOL, ENGLAND, 2020. – С. 012106.

4. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. – URL : <http://www.rzd.ru> (дата обращения: 17.10.2024). – Текст : непосредственный.

5. Федеральный закон от 10.01.2003 г. № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» : сайт. – URL :

<http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102079677> (дата обращения: 17.10.2024). – Текст : электронный.

6. Конституция Российской Федерации [принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учётом поправок, внесённых Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ, от 01.07.2020 № 1-ФЗ] // Собрание законодательства РФ, 03.07.2020, № 31, ст. 4412. – Текст : непосредственный.

7. Гражданский кодекс Российской Федерации (Часть вторая) от 26.01.1996 № 14-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 5. – Ст. 410. – Текст : непосредственный.

8. Федеральный закон от 10.01.2003 № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 2003. – № 2. – Ст. 170. – Текст : непосредственный.

9. Федеральный закон от 10.01.2003 № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. – 2003. – № 2. – Ст. 169. – Текст : непосредственный.

10. Трофимов, С. В. Нормативное регулирование ответственности грузоперевозчиков в гражданском и транспортном законодательстве / С. В. Трофимов. – Текст : непосредственный // Адвокат. – 2017. – № 2. – С. 43–47.

11. Оленцевич, В. А. Системный подход к управлению и контролю человеческих ресурсов в организации бесперебойной работы железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, Ю. И. Белоголов. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 2 (50). – С. 90–95.

12. СМИ узнали о новой редакции правил железнодорожных перевозок грузов в РФ // Альфа Софт. – URL : [https://www.alta.ru/logistics\\_news/105645/](https://www.alta.ru/logistics_news/105645/) (дата обращения: 20.10.2024). – Текст : электронный.

*В. А. Оленцевич, А. В. Старожилова, Архит Буяннэмэх*  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,*  
*г. Иркутск, Россия*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА МОНГОЛИИ НА ПРИМЕРЕ СТАНЦИИ УЛАН-БАТОР**

*Совершенствование организации эксплуатационной работы объектов железнодорожного транспортного комплекса служит основным ресурсом, направленным на ускорение и удешевление стоимости перевозки на железных дорогах Монголии. Эффективный технологический процесс должен учитывать и активно использовать имеющиеся технические устройства, технологии и мероприятия научного прогресса. Важным критерием при анализе эффективности функционирования грузовой железнодорожной станции является учёт показателей работы примыкающих подъездных путей промышленных предприятий, уровней развития инфраструктуры, автоматизации и цифровизации технологических процессов и производств. В связи с данными факторами поставлена цель научного исследования – провести факторный анализ эксплуатационной работы объектов железнодорожного транспорта Монголии на примере организации работы станции Улан-Батор и предложить управленческие решения, направленные на совершенствование её работы.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт Монголии, организация эксплуатационной работы, уровень пропускной способности, грузоперевозки, модернизация объектов инфраструктурного комплекса, пропускная способность, контейнерные перевозки.*

**Введение.** Реализация ключевых позиций Долгосрочной программы развития и оптимизации работы АО Улан-Баторской железной дороги (УБЖД) позволила получить быстрые результаты, анализ которых показал, что перед инфраструктурным комплексом УБЖД стоит основная цель, решение которой позволит освоить плановый уровень грузоперевозок – скорейшее проведение технической модернизации объектов инфраструктурного комплекса. Данная тенденция вызвана следующими факторами:

- быстрые темпы развития горнодобывающей отрасли на территории страны;
- увеличение объёмов грузопотока со стороны Китая и России;

- развитие тяжеловесного движения грузовых поездов;
- необходимость увеличения пропускной и провозной способности участков УБЖД [1–3].

**Возможность реализации плановых размеров грузопотоков за счёт модернизации объектов АО УБЖД.** Кроме реализации экспортных, импортных и внутренних перевозок важным фактором, оказывающим значительное влияние на прирост грузопотока УБЖД, является значительная доля транзитных перевозок из России в Китай, размер которых в последние годы увеличился почти в три раза, особенно в секторе контейнерных перевозок. Сегодня уровень пропускной способности железных дорог Монголии достаточно низкий и не позволяет УБЖД реализовать потребный объем транзита по сети. С целью разрешения указанных проблем до 2030 года ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») и УБЖД разработали современный план модернизации железнодорожных путей и станций [4, 5].

Так, с целью увеличения пропускных и провозных мощностей участков и железнодорожных линий, согласно программы модернизации, запланировано приобретение и скорейший запуск в эксплуатацию «Системы интервального регулирования движением поездов». Реализация проекта на главном ходу позволит увеличить показатели пропуска поездов на 15–20 %, в зависимости от технических особенностей участка. С целью более эффективного использования «Системы интервального регулирования движением поездов» возникает необходимость сооружения на промежуточных станциях дополнительного путевого комплекса, что позволит увеличить количество грузовых поездов в пакете и, как следствие, увеличит пропускную способность объектов инфраструктурного комплекса еще на 10–15 % [6–9].

В последние годы на УБЖД произошло увеличение среднего веса грузового поезда на 800 тонн. Прирост весовых норм обеспечил прирост длины поезда, что благоприятно сказалось на уровне провозной способности. На данный момент средняя длина поезда на некоторых участках превышает или соответствует установленной длине поезда, а к 2030 году запланирован комплекс мероприятий по ее дальнейшему наращиванию.

В соответствии с прогнозными значениями специалистов УБЖД, структура грузовых перевозок по сети к 2026 году изменится за счет увеличения доли минеральных строительных материалов (+6,5 %), рудных грузов (+7,2 %) и грузов в контейнерах (+2,8 %), при сокращении удельного веса нефтяных грузов (–3,2 %), грузов группы «прочие» (–3,5 %), каменного угля (–2,9 %), лесных грузов (–1,3 %) и черных металлов (–1,5 %) (рис. 1).





Рис. 1. Структура грузовых перевозок по сети АО УБЖД к 2025 году

Проведя анализ основных показателей работы железнодорожной станции Улан-Батор как крупнейшего объекта УБЖД, выявлено, что максимальный объем по прибытию импорта приходится на контейнерный грузопоток [10]. Наибольший объем транзита из Китая в Россию составляют порожние контейнеры, а из России в Китай – лесные грузы. Станция Улан-Батор является крупной грузовой станцией, перерабатывающей широкую номенклатуру грузов.

Объем перевозок грузов, прибывающие на станцию представлен следующей номенклатурой грузов: химические грузы, цветные и черные металлы, нефть и нефтепродукты, продукты питания, контейнерные грузы, строительные грузы и прочие. Объем перевозок грузов, отправляемых со станции: медь, медные концентраты, цинк, железная руда, нефть, нефтепродукты, полевые шпаты, продукты питания, экспортирующий уголь, контейнерные грузы, порожний контейнер и прочие. Перевозка транзит из Китая в Россию: контейнерные грузы, контейнерные грузы, химические грузы, оборудование, пек, прочие. Перевозка транзит из России в Китай: масло, мазут, древесина, химические грузы. Динамика показателей работы станции представлена в табл. 1.

Для выполнения грузовых и коммерческих операций на станции имеется: крытый пакгауз, крытая и открытая грузо-сортировочные платформы, контейнерная площадка, тяжеловесная площадка, повышенный путь для выгрузки сыпучих грузов, которые объединены в грузовой двор. Максимальный объем, как внутреннего, так и транзитного грузопотока составляют контейнерные грузы.

Таблица 1

**Динамика показателей работы**

| Показатели<br>работы станции   |         | Период |        |        |        |        |        |        |                 |
|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
|                                |         | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   | 2024   | 2025<br>прогноз |
| Отправле-<br>ние вагонов       | в год   | 267345 | 269391 | 284747 | 401713 | 416076 | 521345 | 568871 | 602520          |
|                                | в сутки | 743    | 739    | 781    | 1101   | 1140   | 1429   | 1559   | 1651            |
| Объем<br>погрузки<br>в вагонах | в год   | 12565  | 15743  | 21649  | 30836  | 35144  | 41223  | 52447  | 62128           |
|                                | в сутки | 33     | 45     | 54     | 81     | 97     | 113    | 144    | 171             |
| Объем<br>выгрузки<br>в вагонах | в год   | 155465 | 172052 | 172813 | 18841  | 188896 | 214580 | 235947 | 305250          |
|                                | в сутки | 365    | 324    | 345    | 447    | 448    | 588    | 646    | 837             |

**Совершенствование эксплуатационной работы объектов железнодорожного транспорта Монголии, на примере станции Улан-Батор.** Анализ технологии работы объекта исследования показал, что технологические возможности железнодорожной станции Улан-Батор позволяют реализовать контрейлерную схему доставки грузов, при которой отсутствует необходимость осуществления перегрузочных работ в отличие от контейнеров, с которыми необходимо производить перевалку на контейнерной площадке, в связи с чем технологическое время на погрузо-разгрузочные операции увеличивается. Применение контрейлерной технологии организации эксплуатационной работы позволит в значительной мере повысить уровень производительности использования инфраструктурного комплекса и технических средств станции, нарастить пропускные и перерабатывающие мощности, увеличить грузопоток.



**Рис. 2.** Алгоритм организации контрейлерной перевозки

Реализация контрейлерной перевозки возможна способами: перевозка автопоезда на железнодорожной платформе; перевозка съемных кузовов автомобиля без ходовой части на железнодорожной платформе, кузов грузится на платформу при помощи крана или вилочного погрузчика (вертикальная погрузка). На рис. 2 представлен алгоритм организации контрейлерной перевозки.

Гружёный полуприцеп, выступая как интермодальная транспортная единица будет транспортироваться по автодорогам Монголии автотранспортом грузоотправителя, по железной дороге на специализированной платформе. Предусматривается, что гружёный полуприцеп грузоотправитель доставляет на станцию отправления У-Б, где осуществляется погрузка и отправка до станции назначения, где далее происходит выгрузка полуприцепа и прицепка к тягачу, а также доставка до склада грузополучателя. Предлагаемая схема транспортировки соответствует критериям интермодальной перевозки [12–15].

**Заключение.** Применение технологии контрейлерной перевозки на объектах инфраструктурного комплекса УБЖД имеет достаточно выгодные позиции, в силу своих достоинств и оптимизации эксплуатационной работы, направленных на повышение качества услуг и сервисов. Затраты на организацию контрейлерной перевозки, учитывая явные ее временные преимущества, удобство и современный подход, оправдывает ожидания. Доказана дальнейшая возможность по снижению тарифа, так как на сегодняшний день, при расчете провозной платы учитывается перевозка всего автопоезда (полуприцеп и тягач), что коммерчески нецелесообразно. Организация контрейлерной перевозки позволит сократить расходы на транспортировку груза, что говорит о целесообразности применения данной технологии.

#### *Библиографический список*

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2020 года № 2464-р «Об утверждении Национальной программы социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года». – Текст : непосредственный.
2. Винокуров, Е. Ю. Транспортные коридоры Шелкового пути: потенциал роста грузопотоков через ЕАЭС / Е. Ю. Винокуров, В. Г. Лобырев, А. А. Тихомиров, Т. В. Цукарев. – Санкт-Петербург : ЦИИ ЕАБР, 2018. – 74 с. – Текст : непосредственный.
3. Оленцевич, В. А. Аспекты реализации проекта экономического коридора «Россия – Монголия – Китай» / В. А. Оленцевич, Б. Архит, Н. А. Новикова. – Текст : непосредственный // Финансовые аспекты структурных преобразований экономики. – 2024. – № 10. – С. 72–82.

4. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р, Москва. – Текст : непосредственный.

5. Оленцевич, В. А. Вопросы оптимизации работы транспортно-логистических узлов и комплексов на восточном полигоне железных дорог / В. А. Оленцевич, Н. П. Асташков, В. С. Брытков. – Текст : непосредственный // В сборнике : Концептуальные проблемы экономики и управления на транспорте: взгляд в будущее : труды Международной научно-практической конференции. – Москва, 2023. – С. 221–224.

6. Краковский, Ю. М. Моделирование перевозочного процесса железнодорожным транспортом: анализ, прогнозирование, риски / Ю. М. Краковский, С. К. Каргапольцев, В. А. Начигин. – Санкт-Петербург, 2018. – Текст : непосредственный.

7. Носков, С. И. Агрегированный критерий оценки эффективности функционирования участков Улан-Баторской железной дороги / С. И. Носков, М. П. Базилевский, Ю. А. Трофимов, А. Буяннэмэх. – Текст : непосредственный // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 5 (39). – С. 159–164.

8. Архит, Б. Реализация интермодальных сервисов для повышения уровня пропускной способности Восточного полигона железных дорог / Б. Архит, Н. А. Новикова. – Текст : непосредственный // В сборнике : Актуальные проблемы транспорта в XXI веке : труды III международной научно-практической конференции. – Новокузнецк, 2024. – С. 15–21.

9. Каимов, Е. В. Актуальность вопросов перераспределения технических мощностей Восточного полигона железных дорог / Е. В. Каимов, В. А. Оленцевич, Р. В. Максимова. – Текст : непосредственный // В сборнике : Актуальные проблемы транспорта в XXI веке : труды II международной научно-практической конференции ; под редакцией О. В. Князькиной. – Новокузнецк, 2023. – С. 185–188.

10. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р. [доступ из справочно-правовой системы «Консультант-Плюс» в локальной сети]. – Текст : непосредственный.

11. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. – URL : <http://www.rzd.ru> [дата обращения: 17.09.2023]. – Текст : электронный.

12. Об утверждении методики определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования : Приказ Министерства Транспорта Российской Федерации от 18.07.2018 г. № 266. – 2018. – 40 с. – Текст : непосредственный.

13. Архит, Б. Проблемы инфраструктурного комплекса железных дорог Монголии / Б. Архит, В. А. Оленцевич. – Текст : непосредственный // В сборнике : Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ-2024) : электронный сборник трудов II международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 12–14.

14. Черных, А. В. Повышение транспортно-транзитного потенциала страны / А. В. Черных, А. А. Пивоваров. – Текст : непосредственный // Молодёжь и XXI век-2024 : сборник научных статей 13-й международной молодёжной научной конференции. В 3-х томах. – Курск, 2024. – С. 305–308.

15. Зайцев, Д. А. Совершенствование погрузо-разгрузочных операций на железнодорожной станции / Д. А. Зайцев, Д. В. Гончареня, Е. В. Файзрахманова. – Текст : непосредственный // Технологии и техника: пути инновационного развития : сборник научных статей Международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2023. – С. 264–267.

**П. Е. Раевская, Н. В. Раевский**

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

**В. В. Зубков**

*ОМК «Стальной путь»,  
г. Москва, Россия*

**О. Н. Панова**

*РУТ МИИТ,  
г. Москва, Россия*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ. ВАРИАНТЫ ЭТАПНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ВТОРЫХ ПУТЕЙ**

*В статье представлены результаты анализа пропускной способности направления железной дороги. Рассмотрены варианты организации двухпутных вставок.*

*Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пропускная способность.*

Холдинг ОАО «РЖД» – это крупнейший системообразующий элемент российской экономики Российской Федерации. Железные дороги



выполняют свою деятельность в любое время года и при любых погодных условиях.

Перевозочный процесс – это комплекс мероприятий по перемещению грузов, пассажиров с использованием различных видов транспорта. Он включает в себя несколько ключевых этапов (рис. 1).



**Рис. 1.** Ключевые этапы перевозочного процесса

При реализации грузооборота возникает сокращение резерва пропускной способности, которое приводит к инфраструктурным ограничениям.

При анализе существующих линий РЖД выявлено, что есть однопутные участки. В связи с этим отсутствие резерва пропускной способности на таких линиях гораздо чаще встречается.

Основные способы, позволяющие увеличить пропускную способность однопутной линии при постоянном виде тяги, представлены на рис. 2.

Из рис. 2 рассмотрим сооружение двухпутной вставки на однопутной железнодорожной линии при безостановочном скрещении поездов.



**Рис. 2.** Способы увеличения пропускной способности однопутной линии

На рис. 3 изображены варианты проектирования двухпутных вставок.



**Рис. 3.** Варианты организации двухпутных вставок на однопутных линиях

Примыкание двухпутных вставок может быть выполнено различными способами в зависимости от конкретных условий эксплуатации и требований безопасности (рис. 4).

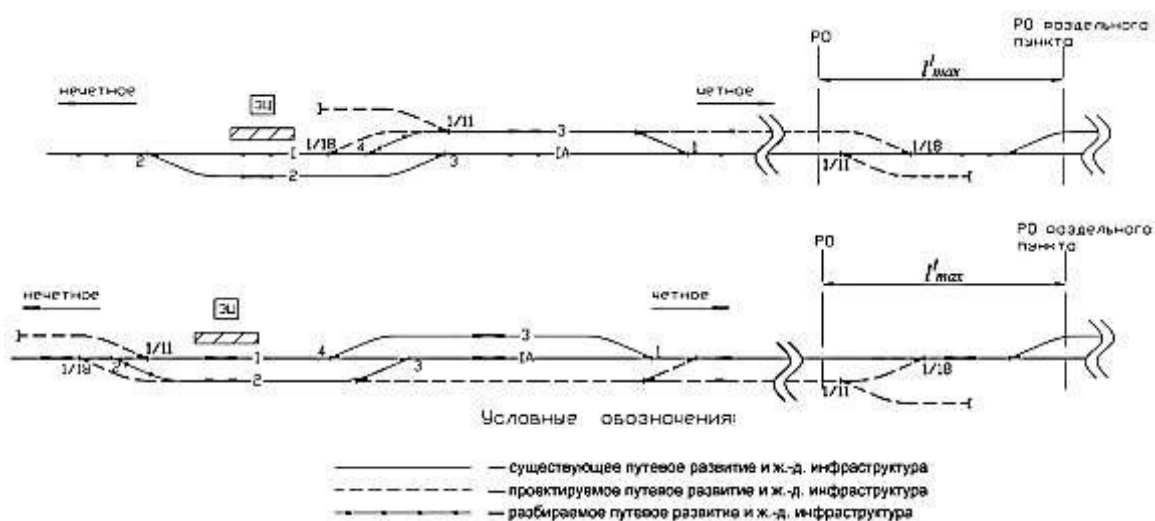


**Рис. 4.** Варианты примыкания двухпутной вставки к раздельному пункту

В табл. 1 представлены сравнительная характеристика разных вариантов примыкания к раздельному пункту двухпутных вставок.

Строительство второго главного пути позволяет увеличить пропускную способность железнодорожных перевозок, что, в свою очередь, сократит время в пути и повысит надежность транспортных услуг.

*Таблица 1*

**Сравнительная характеристика вариантов примыкания двухпутных вставок к раздельному пункту**

| Вариант примыкания                                                                                                     | Преимущества                                                                | Недостатки                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Прямолинейное (два пути продолжают без изменения направления и соединяются с основным путем через стрелочные переводы) | - простая конструкция;<br>- минимальные затраты на строительство            | - ограниченная гибкость при изменении направления движения                      |
| Криволинейное (применяются кривые участки пути, что позволяет плавность движения)                                      | - возможность изменения направления движения;<br>- улучшенная маневренность | - сложная конструкция;<br>- увеличенные затраты на строительство и обслуживание |
| С разветвлением (двухпутная вставка разделяется на две отдельные ветки)                                                | - повышение пропускной способности;<br>- гибкое управление потоками         | - сложная система управления движением;<br>- строительство дополнительных путей |

В рамках строительства планируется модернизация существующих путей, а также создание новых участков, что обеспечит более эффективное движение поездов. Реализация данного проекта также способствует развитию регионов, через которые проходит новая линия, создавая новые рабочие места и улучшая экономическую ситуацию.

Важно учитывать, что во время строительства необходимо минимизировать воздействие на окружающую среду и обеспечить безопасность местных жителей. Взаимодействие с общественностью и учет мнения местных жителей также являются ключевыми аспектами успешной реализации проекта.

Таким образом, строительство второго главного пути представляет собой значимый шаг к улучшению транспортной системы и повышению качества жизни в регионах, через которые он пройдет.

Данное строительство на уже существующем участке считается нецелесообразным, поскольку требует значительных финансовых вложений и временных затрат. В начале эксплуатации такой путь часто не используется в полном объеме из-за низкой потребности в перевозках, что делает его экономически невыгодным. В связи с этим поэтапное строительство вторых путей представляется более рациональным подходом. Исключения могут составлять ситуации с высоким темпом роста объемов перевозок, когда частичная укладка вторых путей может оказаться неэффективной.

Техническое обслуживание путей направлено на обеспечение надлежащего состояния железнодорожной инфраструктуры. Важно определить этот стандарт, учитывая, что затраты на техническое обслуживание никогда не являются низкими, поскольку безопасность должна быть гарантирована любыми методами. Она во многом зависит от состояния железнодорожных путей, которые регулируются несколькими нормативными актами в России.

Основной задачей обслуживания железнодорожных путей является предотвращение отклонений от установленных стандартов геометрии, таких как ширина и уклон, а также устранение уже имеющихся нарушений и проведение ремонта. Это включает не только исправление дефектов, но и очистку путей от снега, высокой травы, а также удаление зарослей, завалов и обломков на всей протяженности участка ответственности. Техническое обслуживание путей осуществляется регулярно по установленному графику, а также после проезда поездов особых категорий, после значительных осадков, стихийных бедствий и других факторов, способных повлиять на состояние путей. Следует подчеркнуть, что техническое состояние железнодорожного пути напрямую влияет на без-

опасность движения поездов, поэтому обслуживание должно проводиться тщательно и в соответствии с действующими нормами и требованиями.

Возникают дополнительные расходы на обслуживание построенных объектов.

Предлагается сравнить варианты увеличения пропускной способности на однопутном участке одного направления существующей линии. При этом необходимо оценить сравнение вариантов теоретически (с помощью построения графика движения поездов) и определение основных показателей эксплуатационной работы, а также определить общую и сравнительную экономические эффективности. В табл. 2 представлены расчеты.

*Таблица 2*

**Сравнение вариантов увеличения пропускной способности**

| <b>Наименование вложений и расходов</b>              | <b>Первый вариант,<br/>руб.</b> | <b>Второй вариант,<br/>руб.</b> |
|------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Капиталовложение на строительство пути               | 1 496 325 953,19                | 1 412 348 476, 23               |
| Укладка стрелочных переводов                         | 16 629 732                      | 16 629 732                      |
| Устройства СЦБ                                       | 7 610 325, 452                  | 7 209 782, 008                  |
| Суммарные капиталовложения                           | 1 520 566 010, 64               | 1 436 187 990, 24               |
| Затраты на движение поездов                          | 1 169 772 721                   | 1 161 889 200                   |
| Затраты на простой поездов на промежуточных станциях | 50 810 808, 73                  | 52 499 349, 53                  |
| Затраты за простой поездов на технических станциях   | 80 645 659, 91                  | 58 884 887, 62                  |
| Расходы на текущее содержание путей                  | 2 338 690, 92                   | 2 207 437, 85                   |
| Расходы на текущее содержание стрелочных переводов   | 626 200,64                      | 626 200, 64                     |
| Сумма эксплуатационных расходов                      | 1 304 194 081, 22               | 1 276 107 075, 64               |

Наиболее целесообразным будет вариант с наименьшими капитальными вложениями и эксплуатационными расходами, целесообразным является график движения с двухпутной вставкой на участке.

Строительство двухпутной вставки является важным шагом в развитии инфраструктуры и обеспечения безопасности движения транспорта на данном участке. Реализация данного проекта позволит снизить загруженность существующего участка, улучшить условия передвижения и сократить время в пути.



*Библиографический список*

1. Функциональная стратегия управления качеством в ОАО «РЖД» : Распоряжение ОАО «РЖД» от 15.01.2007 № 46р. – Текст : непосредственный.
2. Постановление Правительства № 871 от 29 декабря 2004 г. «О формировании отчётности открытого акционерного общества «Российские железные дороги». – Текст : непосредственный.
3. Каретников, А. Д. График движения поездов / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьёв. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Москва : Транспорт, 1979. – 301 с. – Текст : непосредственный.
4. Влияние системы тягового электроснабжения на пропускную способность Забайкальской железной дороги / П. Е. Раевская (Волокитина). – Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 2 (42). – Ростов-на-Дону. – С. 126–131.
5. Обсуждение проблемы тяжеловесного движения на высшем уровне: 27 июля 2016 г. прошло заседание научно-технического совета ОАО «РЖД» / подгот. А. С. Яновский. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 9. – С. 39–40.
6. Президент ОАО «РЖД» Олег Белозёров провёл заседание научно-технического совета по вопросам развития тяжеловесного движения // РЖД Партнер. Документы. – 2016. – № 17. – С. 13. – Текст : непосредственный.
7. Тяжеловесное движение: выгодно или затратно? / подгот. А. С. Яновский. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 1–2.

***В. А. Рягина, Е. А. Труфанов, О. И. Крушинская***  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

**ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ ПОЕЗДКИ  
В ПРИГОРОДНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ  
КАК МЕХАНИЗМ УДЕРЖАНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ  
ПАССАЖИРОПОТОКОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**

*В рамках проведённого исследования авторами изучены виды подвижного состава, применяемого для пригородных пассажирских перевозок на территории Иркутской области, проведены анализ показате-*

*лей работы перевозчика в период с 2020 г. по 2022 г. и анализ данных по количеству ежегодно внедряемых подвижных составов в пригородное сообщение на территории Иркутской области, выявлена закономерность влияния внедряемого подвижного состава на показатели работы перевозчика. По итогам работы оценена важность внедрения подвижного состава, обеспечивающего необходимый уровень комфорта для сохранения конкурентоспособности пригородного железнодорожного транспорта.*

*Ключевые слова: железнодорожные пассажирские перевозки, пригородные перевозки, механизм удержания и увеличения пассажиропотоков, пригородная пассажирская компания.*

Развитие железнодорожного пригородного транспорта является неотъемлемой частью повышения уровня комфорта жизни населения. Однако сохранение и повышение конкурентоспособности железнодорожного транспорта на рынке пригородных перевозок требует определения наиболее значимых векторов развития, которые обеспечат функционирование и устойчивый спрос услуг пригородного железнодорожного транспорта.

Определенные неудобства, связанные с особенностями работы железнодорожного транспорта требуют создания комфортных условий поездки, обеспечивающих удержание пассажиров от перехода на более гибкий автомобильный транспорт.

Целью исследования является рассмотрение зависимости пассажиропотока от изменений комфортабельности подвижного состава в пригородном железнодорожном сообщении Иркутской области. Предполагается, что повышение комфортабельности пригородного пассажирского транспорта является одной из причин увеличения количества отправленных пассажиров.

В данный момент на территории Иркутской области перевозки пригородным железнодорожным транспортом осуществляет акционерное общество «Байкальская пригородная пассажирская компания» (далее по тексту – АО «Байкальская ППК», общество, компания). Деятельность общества началась с 1 мая 2011 года. Компания оказывает услуги по перевозке пассажиров пригородным железнодорожным транспортом, в т.ч. на территории республики Бурятия.

Пригородные перевозки осуществляются тремя видами подвижного состава: моторвагонным подвижным составом, рельсовыми автобусами и цельнометаллическими вагонами на электровозной или тепловозной тяге.

Рельсовые автобусы применяются для обеспечения перевозок на участке Иркутск-Пассажирский – Слюдянка-1 – Байкал (туристические поезда BaikalTrain и Нерпочка); цельнометаллические вагоны – на участках Киренга – Таксимо, Иркутск-Пассажирский – Слюдянка-1 – Байкал (поезда Мотаня, Удобный).

На оставшемся участке деятельности АО «Байкальская ППК» используется моторвагонный подвижной состав в 4, 6, 8 и 10-вагонном исполнении. Основным тип моторвагонного подвижного состава – ЭД9М. Также ЭД9МК – тип составов пригородных поездов повышенной комфортности, используемый на участках Иркутск-Пассажирский – Зима, Иркутск-Пассажирский – Слюдянка-1 – Байкал (туристический поезд BaikalTrain).

1 апреля 2020 г. впервые были запущены пригородные электропоезда нового вида ЭПЗД. Основными преимуществами нового подвижного состава являются: наличие кондиционера для обеспечения комфортной поездки в летний период, возможность беспрепятственного сквозного прохода между секциями, увеличенная площадь санитарного узла (по сравнению с ЭД9М). В более поздних электропоездах серии ЭПЗД – установленные USB-порты для зарядки гаджетов.[1]

Одним из показателей работы АО «Байкальская ППК» является количество отправленных пассажиров [2] (табл. 1).

*Таблица 1*

**Динамика отправленных пассажиров АО «Байкальская ППК» по субъектам Российской Федерации за 2020–2022 гг.**

| Субъект РФ         | 2020 г.<br>(факт),<br>тыс. чел. | 2021 г.<br>(факт),<br>тыс. чел. | 2021/2020,<br>% | 2022 г.<br>(факт),<br>тыс. чел. | 2022/2021,<br>% | 2022/2020,<br>% |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| <i>1</i>           | <i>2</i>                        | <i>3</i>                        | <i>4</i>        | <i>5</i>                        | <i>6</i>        | <i>7</i>        |
| Иркутская область  | 8068,9                          | 8170,9                          | 101,3           | 8525,3                          | 104,3           | 105,7           |
| Республика Бурятия | 247,7                           | 267,4                           | 108,0           | 295,9                           | 110,7           | 119,5           |

Также показателем работы компании является средняя дальность поездки (см. Рисунок). [2]

На основе данных показателей может быть рассчитан пассажирооборот за рассматриваемый период:

$$Al = A \cdot l_{\text{ср}}; \quad (1)$$

**РАЗДЕЛ 4. Организация перевозок и управление движением поездов.  
Грузовая и коммерческая работа**

где  $Al$  – пассажирооборот;

$A$  – количество отправленных пассажиров;

$l_{cp}$  – средняя дальность поездки. [3]

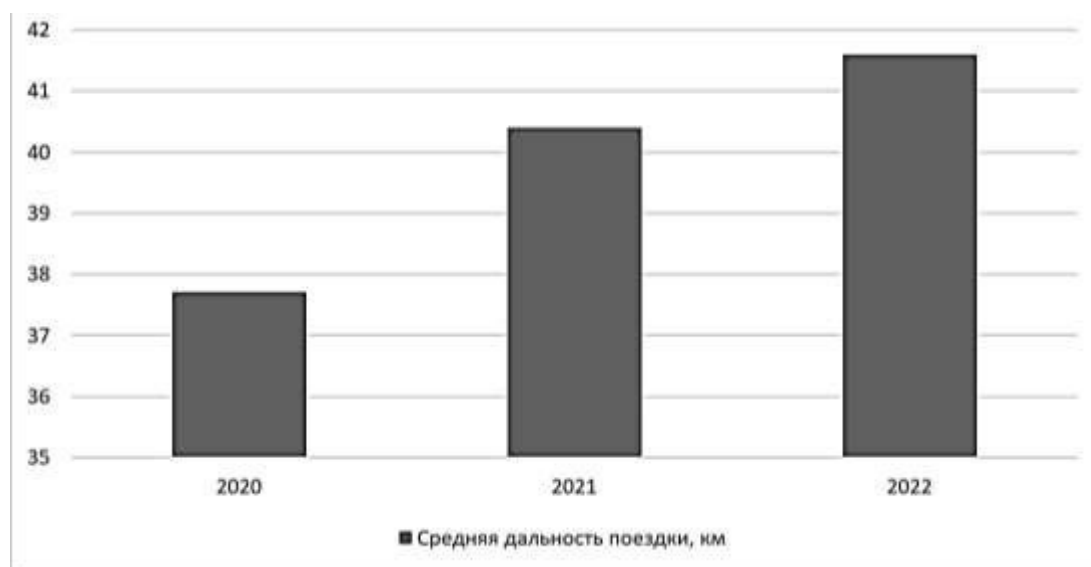


**Рис. 1.** Динамика средней дальности поездки за период 2020–2022 гг.

Показатели работы компании представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Показатели работы компании АО «Байкальская ППК»  
за период 2020–2022 гг.**

| Показатель                                                         | 2020 г.<br>(факт) | 2021 г.<br>(факт) | 2021/2020,<br>% | 2022 г.<br>(факт), | 2022/2021,<br>% |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| <i>l</i>                                                           | <i>2</i>          | <i>3</i>          | <i>4</i>        | <i>5</i>           | <i>6</i>        |
| Количество отправленных пассажиров, тыс. чел. (Иркутская обл.)     | 8068,9            | 8170,9            | 101,3           | 8525,3             | 104,3           |
| Количество отправленных пассажиров, тыс. чел. (Республика Бурятия) | 247,7             | 267,4             | 108,0           | 295,9              | 110,7           |
| Средняя дальность поездки, км                                      | 37,7              | 40,4              | 107,2           | 41,6               | 103,0           |
| Пассажирооборот, млн пасс.-км.                                     | 314               | 341               | 108,6           | 367                | 107,6           |

По данным табл. 2 наблюдается рост всех показателей в 2022 году по сравнению с 2021 годом, что говорит об увеличении интереса пассажиров к пригородному железнодорожному транспорту.

По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области пассажирооборот АО «Байкальская ППК» составляет 19,6 % от пассажирооборота автобусов общего пользования Иркутской области. [4]

Увеличение спроса на пригородные перевозки обусловлено влиянием следующих факторов:

- ослабление ограничений, связанных с пандемией COVID-19;
- увеличение туристических потоков по Кругобайкальской железной дороге;
- развитие субурбанизированных территорий городов Иркутск и Улан-Удэ;
- введение в график новых пригородных поездов.

Также одним из факторов увеличения спроса является повышение комфортности составов пригородных поездов. К концу 2022 года на Восточно-Сибирской железной дороге (зоне деятельности АО «Байкальская ППК») насчитывалось 5 четырехвагонных составов ЭПЗД, один в шестивагонном исполнении. Таким образом, прирост нового подвижного состава в 2022 году составил +200% к 2020 году.

В начале XXI века большая часть товаров и услуг перешла от рынка продавца к рынку покупателя, однако в транспортной сфере Российской Федерации по-прежнему наблюдается картина сохранения рынка продавца. [5]

Для привлечения и сохранения клиентов АО «Байкальская ППК» необходимо учитывать потребности и запросы потребителя услуг – пассажира. Для пассажира пригородного электропоезда важны несколько основных факторов – безопасность, стоимость, время следования и комфорт подвижного состава.

В ходе исследования был проведен социальный опрос пассажиров, осуществляющих поездки в пригородном железнодорожном сообщении, о том, какие факторы наиболее значимы для них при проезде в пригородном электропоезде. Результат опроса показал, что самыми важными критериями являются отправление и прибытие точно в соответствии с расписанием и чистота и порядок в вагонах, далее занимает климатизация и вентиляция, затем такие факторы, как доступность цен, удобные сиденья и наличие возможности зарядки электронных устройств. Таким образом, можно предположить, что улучшая качество вышеприведенных факторов, можно увеличить пассажиропоток и дальность поездки. [6]

На основе рассмотренных показателей и проведенного опроса пассажиров необходимо отметить важность преимущества нового подвижного состава ЭПЗД – поддержания комфортного температурного режи-



ма, как один из главных факторов, влияющих на увеличение популярности пригородного железнодорожного транспорта, что позволит укрепить конкурентоспособность на рынке пригородных перевозок.

*Библиографический список*

1. Новости ТрансМашХолдинга: Расширяется парк новых электропоездов ЭПЗД // Локомотив. – 2019. – № 1 (745). – С. 11. – EDN YTUUJF. – Текст : непосредственный.

2. Годовой отчёт акционерного общества «Байкальская пригородная пассажирская компания» за 2022 год от 25.05.2023 № 159 // АО «Байкальская ППК» : официальный сайт. – 2023. – Текст : непосредственный.

3. Терешина, Н. П. Экономика железнодорожного транспорта. Вводный курс. Часть 1 : учебное пособие / Н. П. Терешина. – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. – 472 с. – 978-5-907206-32-8. – Текст : электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. – URL : <https://umczdt.ru/books/1216/242284/> (дата обращения: 29.09.2024). – Режим доступа: по подписке.

4. Транспорт // Иркутскстат. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. – URL : <https://38.rosstat.gov.ru/folder/187657> (дата обращения: 28.09.2024). – Текст : электронный.

5. Рягина, В. А. Переход от рынка продавца к рынку покупателя в сфере контейнерных перевозок / В. А. Рягина, Е. А. Труфанов, Е. В. Маловецкая. – Текст : непосредственный // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций : сборник статей XI Международной научно-практической конференции, Пенза, 10–11 октября 2023 года. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 354–358. – EDN SKWRSR.

6. Вакуленко, С. П. Основные тенденции совершенствования системы обслуживания пригородных перевозок субурбанизированных и неурбанизированных агломераций / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова. – Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2024. – № 2. – С. 71–75. – EDN NCMOVA.

7. Бочин, Д. А. Особенности пригородных железнодорожных перевозок / Д. А. Бочин. – Текст : непосредственный // Студенческий вестник. – 2021. – № 27-2 (172). – С. 52–53. – EDN XZUZZO.

8. 305.00.00.000-01 РЭ. Электропоезд ЭД9М модель 62-305. Руководство по эксплуатации / разработан ОАО «Демиховский машиностроительный завод», 2005. – 306 с. – Текст : непосредственный.

9. Безденежных, С. Н. Особенности конструкции электропоезда ЭПЗД / С. Н. Безденежных, А. С. Михеев, А. М. Зиятдинов. – Текст : непосредственный // Локомотив. – 2019. – № 11 (755). – С. 25–26. – EDN JEAYQB.

**Е. Н. Светлакова, О. А. Бизяева**

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

### **ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ГРАНИЦАХ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ, ДЛЯ ПРОПУСКА ОБЪЕДИНЁННЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ**

*В связи с ежегодным увеличением грузооборота, а, следовательно, и поездопотока, уменьшается пропускная способность Забайкальской железной дороги. Основным способом решения данной проблемы является объединение контейнерных поездов, т. к. контейнерные поезда лёгкие и при объединении не нуждаются в дополнительном локомотиве. Развитие такого варианта является эффективным, т. к. сокращаются нитки графика движения поездов, а, следовательно, и увеличивается пропускная способность Забайкальской железной дороги.*

*В статье предложены новые технологии обработки объединённых контейнерных поездов на полигоне Забайкальской железной дороги.*

*Ключевые слова: пропускная способность, объединённый контейнерный поезд.*

Ежегодно на сети железных дорог возрастает количество перевозимых грузов, а, следовательно, и увеличивается вагонопоток и поездопоток. В настоящее время Забайкальская железная дорога является одной самых грузонапряженных дорог, резерв пропускной способной практически исчерпан, в связи с этим необходимо внедрять варианты развития железнодорожных станций, чтобы увеличить этот резерв.

Количество контейнерных поездов с каждым годом увеличивается, что снижает резерв пропускной способности. Для решения этой проблемы применяется технология пропуска объединённых контейнерных поездов на полигоне Забайкальской железной дороге, благодаря которой можно снизить требуемую пропускную способность не снижая общий вагонопоток.

Поезд контейнерный объединенный – контейнерный поезд длиной более 100 условных вагонов, с одним локомотивом в голове поезда, сформированный путем объединения составов двух контейнерных поездов установленной графиком движения поездов длины, следующих в попутном направлении, как правило, через одни и те же междорожные стыковые пункты.

Эффективность технологии обращения на сетевом полигоне определяется разностью между технологическими эффектами от вождения двух контейнерных поездов одним локомотивом и локомотивной бригадой, экономией ниток графика движения, затрат электроэнергии на тягу поездов и потерями пропускных способностей технических станций при работе с поездом, превышающим пределы полезной длины приемоотправочного пути.

Регулярное обращение объединенных поездов особенно эффективно в период проведения ремонтно-путевых работ, а также при непарных размерах движения, для предотвращения нерационального использования рабочего времени локомотивных бригад. Пропуск поездов по участкам осуществляется порядком, аналогичным порядку работы с поездами повышенной длины.

Пропуск поезда должен осуществляться по главным путям станций, в исключительных случаях по боковым путям. Однако, на Забайкальской железной дороге нет ни одной станции, которая имела бы специализированные пути для приема объединенных контейнерных поездов для выполнения с ними технических операций. А также есть станции, на которых при приеме таких поездов занимают главные пути, что влечет за собой простой других грузовых поездов у входных светофоров. Это значительно усложняет пропуск таких поездов и не позволяет увеличивать их количество.

На рис. 1–2 представлена действующая технология обработки объединенных контейнерных поездов на станциях Хилок и Чернышевск.

Как видно на рисунках, прием объединенного контейнерного поезда значительно снижает пропускную способность этих станций при существующей длине приемоотправочных путей, так как исключает возможность приема и отправления поездов с соседних путей. Развитие станций Хилок и Чернышевск в настоящее время затруднительно, поэтому предлагается внедрить вариант развития близлежащих железнодорожных станций Украина и Хушенга и перенести технический осмотр и смену локомотивных бригад со станций Хилок и Чернышевск на станции Хушенга и Украина соответственно. Для внедрения данной технологии предлагается провести удлинение путей на этих станциях.

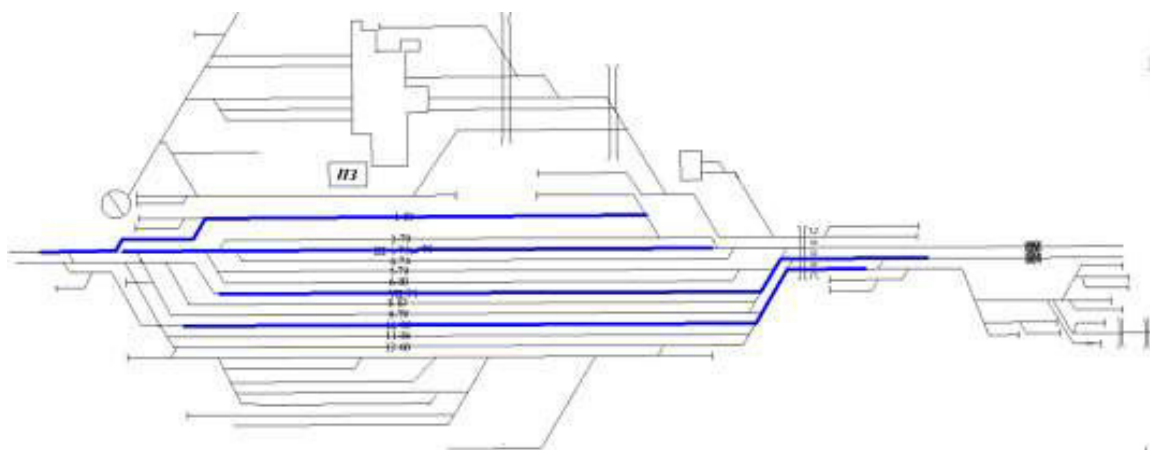


Рис. 1. Технология обработки объединённого контейнерного поезда на станции Хилок

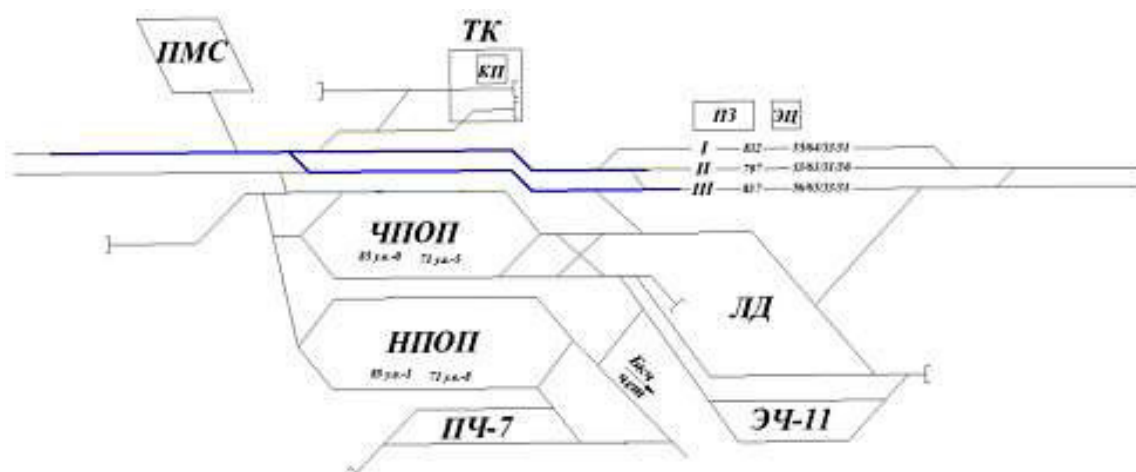


Рис. 2. Технология обработки объединённого контейнерного поезда на станции Чернышевск

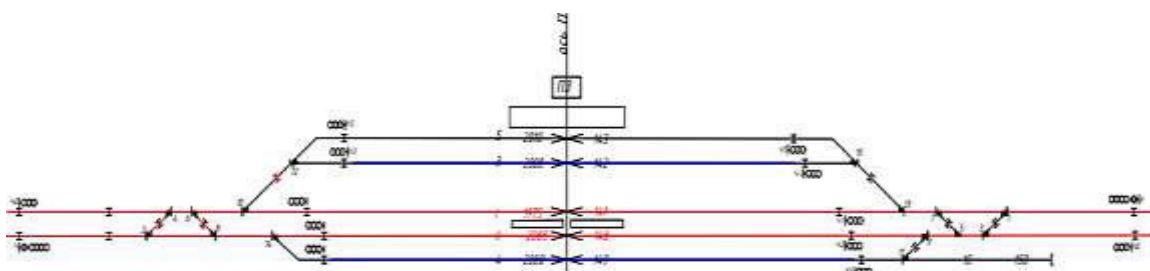


Рис. 3. Станция Украина

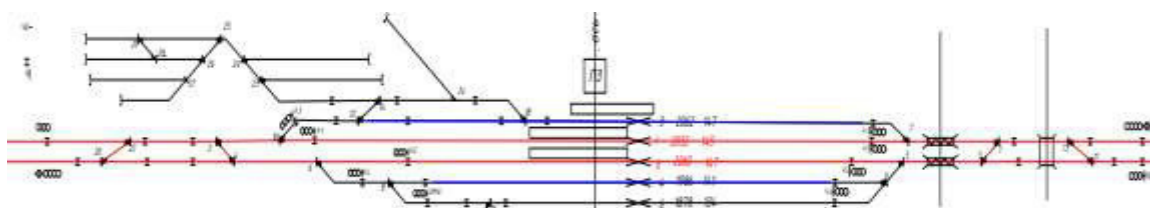


**Рис. 4.** Станция Хушенга

Благодаря внедрению данной технологии резерв пропускной способности увеличится на участках Петровский-Завод – Могзон на 9 %, Могзон – Карымская – 7 %, Карымская – Чернышевск – 10 %.

При построении второго варианта графика движения поездов предложены варианты развития железнодорожных станций на Забайкальской железной дороге для пропуска объединенных контейнерных поездов более 100 условных вагонов. В графике объединены все контейнерные поезда. Сравнение показателей по двум вариантам графиков показало, что наблюдается рост средневзвешенных участковой и технической скоростей на направлении, по второму варианту сократились размеры движения поездов и увеличилась пропускная способность направления. Капитальные вложения в реконструкцию станций Украина и Хушенга составят 503292890,86 руб. Дополнительные расходы на обслуживание дополнительных путей составят 54512189 руб, годовой экономический эффект 300220664 руб. При внедрении данной технологии обработки объединённых контейнерных поездов, срок окупаемости составит 2,04 года, что показывает высокую эффективность проекта.

#### *Библиографический список*

1. Сетевая технология обращения объединённых контейнерных поездов (длиной более 100 у.в.) в границах Московской, Октябрьской, Северной, Горьковской, Свердловской, Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской, Южно-Уральской, Куйбышевской, Северо-Кавказкой, Дальневосточной, Приволжской, Западно-Сибирской железных дорог. – Москва, 2021 г., с изменениями от 23.11.2022 г. ЦД-338/р. – Текст : непосредственный.

2. Технология обращения объединённых контейнерных поездов (длиной более 100 у.в.) в границах Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской, Дальневосточных железных дорог на 2023 год. – Текст : непосредственный.



*Е. Н. Светлакова, И. А. Гурова*

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

**РАЗВИТИЕ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО СЕРВИСА  
ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ УСЛУГ ОАО «РЖД»  
НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПЕРЕВОЗКАМИ ГРУЗОВ В МЕЖДУНАРОДНОМ  
ТРАНСПОРТНОМ КОРИДОРЕ ВОСТОК – ЗАПАД**

*Реализация целей цифровизации требует масштабной интеграции интернет-технологий в транспортной отрасли, что, в итоге, позволит улучшить качество обслуживания клиентов. Развитие транспортных систем в цифровой повестке призвано обеспечить создание единой ИТ-среды для взаимосвязанных систем, комплексов, технологий по организации движения и управлению единым технологическим процессом, объединяющим всех участников работы станции. Это актуальный тренд повышения конкурентоспособности компаний на современном рынке.*

*В статье сформулированы предложения по разработке единой интеллектуальной логистической системы управления (ЕИЛС) и единого информационного поля со всеми участниками перевозочного процесса в пределах станции Забайкальск Забайкальской железной дороги.*

*Ключевые слова: цифровизация, клиентоориентированность, логистика, конкурентоспособность.*

В условиях развития рыночных отношений для транспортных предприятий основной целью деятельности является качественное обслуживание грузовладельцев – потребителей транспортной продукции. Обеспечение технологической связанности различных субъектов рынка при организации и осуществлении перевозок является главной задачей перехода к эксплуатации транспортной отрасли в цифровой повестке.

Одним из важнейших показателей качества транспортной продукции является время обслуживания. Анализ показателей работы станции Забайкальск показывает большой простой местных вагонов.

Повышенный простой местных вагонов связан со многими факторами: несвоевременность подачи или вывода порожних вагонов под перегрузочные операции и после них, тяговых средств, маневровых локомотивов, нерациональное распределение времени для подачи на ПНП и уборки вагонов с них, и другими. Для уменьшения сроков доставки грузов, удовлетворенности клиентов, нужно уменьшить простой местных вагонов, как по узкой, так и по широкой колее.

#### РАЗДЕЛ 4. Организация перевозок и управление движением поездов. Грузовая и коммерческая работа

Для определения факторов, влияющих на показатель клиентоориентированности, была построена диаграмма Исикавы, представленная на рис. 1.



**Рис. 1.** Диаграмма Исикавы факторов, влияющих на клиентоориентированность

Кроме этого, огромное количество проблем существует при взаимодействии участников процесса перевозки. Проблемы можно разделить на три блока. Результат систематизации представлен на рис. 2.

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Технические</b>    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточная техническая и технологическая оснащённость терминалов выгрузки</li> <li>2. Недостаточность ж.д инфраструктуры на этих каналах</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Управленческие</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкий уровень организационно-технологической и информационно-логистической культуры у грузовладельцев</li> <li>2. Отсутствие правильных целеориетированных, гармонизированны элементов цепей поставок бизнес-процессов и связанных систем</li> <li>3. Проблема взаимодействия в цепочке грузовладелец- оператор-магистраль РЖД-магистраль КНР</li> <li>4. Отсутствие управленческого акцента на стыках разных элементов цепи поставок (основные зоны неэффективности)</li> </ol> |
| <b>Технические</b>    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Отсутвие работающих вероятностных моделей управления запасами</li> <li>2. Отсутствие систем сквозного планирования и исполнения перевозок</li> <li>3. Избыток информационных систем в РЖД при нехватке информационно- управляющих</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                       |

**Рис. 2.** Систематизация проблем взаимодействия участников процесса перевозки

Транспортный узел, (станция Забайкальск), как система массового обслуживания, не имеет на текущий момент единого управления, разделен по стыкам ответственности, информационно закрыт, и, с неизбежностью, неэффективен, поэтому необходимо создание единого управленческого и информационного поля.

Для улучшения удовлетворенности клиентов услугами, предоставляемых ОАО «РЖД», в частности станцией Забайкальск, а также для уменьшения простоя вагонов разной колеи на станции, рационального планирования грузовой работы, повышения перерабатывающей способности, предложено внедрение единой интеллектуальной логистической системы управления (ЕИЛС).

Это поможет уменьшить время на согласования, ведь каждый участник процесса в режиме реального времени будет видеть зону своей ответственности на недельный период. Кроме этого работа с клиентами станции станет прозрачной, то есть они будут заранее видеть планируемое время подачи и уборки вагонов. А также получать информацию о вагонах и поездах, которые в недельный период будут передаваться из КНР, тем самым заранее планируя свою работу.

При автоматизированном планировании недельной, месячной работы, можно сократить подобные простои. Также на простои вагонов на станции Забайкальск влияет несогласованность деятельности различных подразделений, в частности ТЦФТО, ДМ, Д, ДТ, то есть во время работы уходит большое количество времени на согласование и переговоры, поэтому необходимо ввести совместное планирование всех подразделений, непосредственно участвующих в работе станции. Данное мероприятие позволит каждому в режиме реального времени видеть свою зону ответственности на недельный период, кроме этого подключить к данной системе клиентов, которые смогут видеть вагоны и все операции, связанные с ними, идущие в их адрес для перегрузочной работы, что поможет им также рациональнее планировать свою работу.

Цифровизация позволяет обеспечивать повышение эффективности основных процессов и операций транспортно-логистического обслуживания, в частности, повышать точность планирования и прогнозирования параметров материальных потоков, с высокой скоростью обрабатывать входящие заявки на доставку, максимально быстро подбирать наиболее подходящий относительно характеристик товара вид и тип подвижного состава, определять рациональные маршруты перевозки, ускорять выполнение заказов на доставку. [2]. Принципиальная схема предлагаемой системы представлена на рис. 3.



Рис. 3. Принципиальная схема ЕИЛС

Одной из главных целей в данном случае является образование единой логистической интеллектуальной автоматизированной системы и как результат – единого информационного поля (киберпространства) с системами смежных видов транспорта и другими участниками транспортного процесса. На рис. 4 представлена схема информационного поля ЕИЛС.

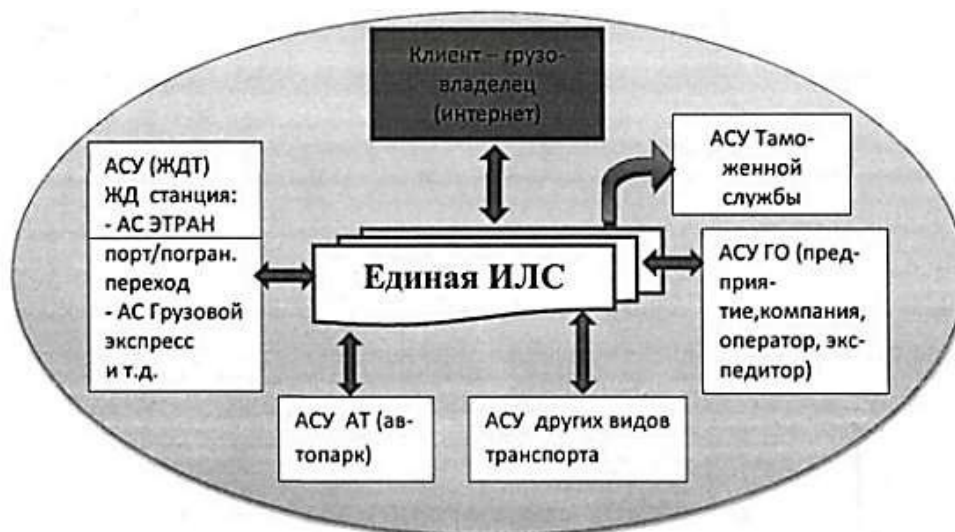


Рис. 4. Схема информационного поля ЕИЛС



На сегодняшний день очевидным является необходимость комплексного контроля над перевозками в пределах станции Забайкальск, основанного на широком использовании современных электронных, коммуникационных и информационных технологий. ЕИЛС, обеспечивающая логистическое управление грузопотоками на станции Забайкальск, должна позволить согласовывать подвод как груженого, так и порожнего подвижного состава, как на станцию со стороны Маньчжурия, так и на перегрузочные места. Определение точного времени прогноза подхода вагона с грузом под выгрузку на перегрузочное место (причем на каждый подъездной путь, грузовой фронт) особенно важно, так как благодаря этому можно заблаговременно спланировать и обеспечить готовность грузового фронта, средств погрузкivyгрузки, людских ресурсов и автотранспорта.

ЕИЛС должна обеспечивать решение целого ряда задач:

- ведение перечня участников транспортно-логистической деятельности на станции и перечня используемых ими типовых логистических цепочек;
- создание единой базы данных обо всей деятельности на станции, обновляемой в режиме реального времени;
- прием и передача электронной грузовой документации по всем грузам, планируемым к перевозке, перегрузке;
- формировать предварительный суточный план подачи вагонов под грузовые операции;
- вести оперативное и долгосрочное планирование перевозки груза (по каждой отправке).
- обеспечивать информационную поддержку пользователю, т.е. предоставляет доступ к информации;
- применяет технологию обмена электронными данными с применением ЭЦП;
- предоставлять пользователю модели – логистические, финансовые, статистические, математические, с помощью которых осуществляется принятие логистических решений «что-если»;
- обеспечивать выработку и оценку альтернатив за счет создания экспертных систем, связанных с обработкой знаний в области логистики;
- согласовывать подвод грузов и подвижного состава к пограничному переходу Забайкальск;
- уменьшить затраты времени на переговоры по передачи поездов ДС Забайкальск с начальником станции Маньчжурия.

Кроме того, такая система должна упростить и работу персонала. Программа должна иметь широкомасштабную базу данных по вводи-



мым запретам на перевозку и прием грузов в связи с таможенным запретом, наличием ветеринарных запретов, отсутствием технических возможностей приема грузов и т.д., при условии постоянного и своевременного обновления.

Данная система (ЕИЛС) является необходимым этапом развития эксплуатируемых в настоящее время информационно-справочных и управляющих систем. Новое время диктует новые задачи, которые связаны с непрерывным и всесторонним совершенствованием организации производства, повышением его эффективности, которое должно обеспечить высокий уровень и качества работы, и качества транспортно-логистического обслуживания клиентов. В ЕИЛС поступают данные о подходе вагонов с КНР, система в свою очередь обрабатывает их и уже корректирует работу всех подразделений с учетом предстоящей работы, кроме этого система оптимизирует работу перегрузочных мест, ведь максимального эффекта можно добиться только при адаптивном планировании с АС клиентов станции.

Это уже будет сглаживать пиковые ситуации для обоих партнеров. При этом юридическая независимость и коммерческие приоритеты партнеров сохраняются, но цели меняются.

Качество функционирования такой модели будет зависеть от наличия своевременной, достоверной, избыточной информации по каждому каналу: – станция Забайкальск; – транспортные системы клиентов; – сухопутный погранпереход ЖДПП.

При сравнении показателей работы станции до и после внедрения ЕИЛС видно, что простой вагонов уменьшается, а объем обрабатываемых поездов и вагонов увеличивается, следовательно, предложенная программа будет эффективна. Экономический эффект от сокращения простоев вагонов и поездов на станции Забайкальск составляет 81313851,5 рублей.

#### *Библиографический список*

1. Гвилия, Н. А. Развитие корпоративных логистических систем в условиях цифровизации / Н. А. Гвилия, К. О. Михайлова. – Текст : непосредственный // Развитие науки и научно-образовательного трансфера логистики / под научной редакцией д.э.н., проф. В. В. Щербакова. – Санкт-Петербург : Издательство СПбГЭУ, 2019. – С. 144–155.

2. Кириллова, А. Г. Современная логистика международных транспортных коридоров – основа прироста экспортных грузопотоков / А. Г. Кириллова. – Текст : непосредственный // Инновации транспорта. – 2019. – № 1 (35). – С. 10–13.

3. Лихуа Чжао. Логистические проблемы транспортного сообщения между Россией и Китаем / Лихуа Чжао. – Текст : непосредственный // Инновационный транспорт. – Сентябрь 2019. – № 3. – С. 11–20.

4. Минакова, Э. С. Транспортно-логистические технологии для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта / Э. С. Минакова. – Текст : непосредственный // Бюллетень транспортной информации : журнал. – 2010. – № 12. – С. 31–33.

**Е. Н. Светлакова, В. Ю. Ермолина**

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

### **ИЗМЕНЕНИЕ ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКОВ БЕЗОПАСНОГО СЛЕДОВАНИЯ ВАГОННОГО ПАРКА НА ПОЛИГОНЕ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ – ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ МАРШРУТНОЙ СКОРОСТИ**

*Наиболее актуальными задачами, стоящими перед железнодорожным транспортом в области технического обслуживания вагонов, являются: сокращение количества остановок поездов для проведения технического обслуживания вагонов в пути следования; снижение простоя подвижного состава по причине технических неисправностей, повышение надёжности, внедрение новых технологий по его обслуживанию, более широкое использование диагностических средств; повышение качества подготовки поездов в рейс с использованием ремонтных мощностей пунктов подготовки вагонов к перевозкам. На железных дорогах страны тенденция роста гарантийных участков сохраняется благодаря проводимой работе по разработке и внедрению новейших автоматизированных методов контроля технического состояния грузовых вагонов.*

*В статье рассматривается изменение гарантийных участков безопасного следования вагонного парка на полигоне Забайкальской железной дороги за счёт применения системы диагностики ППСС.*

*Ключевые слова: вагонное плечо, технический осмотр, безопасность движения, маршрутная скорость.*

В настоящее время для повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта Российской Федерации перед транспортом поставлена задача: обеспечить увеличение протяженности безостановочного следования поездов и маршрутной скорости доставки грузов.

Одним из самых эффективных способов повышения маршрутных скоростей поездов является увеличение гарантийных участков безопасного следования, расчётного обоснования периодичности технического обслуживания грузовых вагонов на технических станциях, с учетом обеспечения безопасности движения поездов. При этом повышение безопасности движения поездов на сегодняшний день является важнейшей составляющей эффективной работы и развития железнодорожного транспорта.

В современных условиях решение проблемы по обеспечению безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов, во многом определяется техническим состоянием вагонного парка и периодичностью его технического обслуживания на ПТО.

Существующая тенденция роста гарантийных участков по всей стране стала возможной благодаря разработке и внедрению в эксплуатацию автоматизированных систем диагностики и контроля технического состояния подвижного состава. Эксплуатируемые системы по своим характеристикам не только превышают функциональный объем человека, но и предоставляют более достоверные данные о состоянии узлов вагона, что значительно снижает количество отцепок в грузовых поездах в пути следования. Современные эксплуатируемые системы осмотра и диагностики дублируют функции осмотриков вагонов тем самым, исключая человеческий фактор.

Однако на сегодняшний день проводимые меры и существующие гарантийные плечи на полигоне Забайкальской железной дороге полностью не исключают задержки поездов из-за технического обслуживания транзитных поездов, большой загруженности технических станций, а также остановок на промежуточных станциях из-за неприема техническими. Это свидетельствует о необходимости совершенствования существующей системы контроля технического состояния вагонов на ПТО.

Наиболее актуальные задачи:

- сокращение количества остановок поездов для проведения технического обслуживания вагонов в пути следования;
- снижение простоя подвижного состава по причине технических неисправностей, повышение надежности, внедрение новых технологий по его обслуживанию, более широкое использование диагностических средств;
- повышение качества подготовки поездов в рейс с использованием ремонтных мощностей пунктов подготовки вагонов к перевозкам.

Предлагаем объединение нескольких гарантийных участков в четном и нечетном направлении следования поездов для проследования

транзитных грузовых поездов по Забайкальской железной дороге без проведения технического осмотра. Предполагается, что технический осмотр будет проводиться на станциях погрузки и выгрузки, а также станциях формирования или частичной переработки поездов на попутных же технических станциях технический осмотр работниками ПТО проводиться не будет. Предполагаемые изменения производятся относительно станций Чита-1, Карымская, Могоча и Белогорск, которые являются границами большинства междорожных гарантийных плеч. На перечисленных станциях планируется изменение графиков обработки транзитных грузовых поездов без изменения массы и длины со сменой локомотива. Предлагаемое мероприятие позволит:

- увеличить провозную и пропускную способности дороги в целом и станций Чита-1, Карымская, Могоча и Белогорск;
- увеличить маршрутную скорость доставки грузов;
- сократить груженный рейс вагона и ускорить оборот вагона;
- оптимизировать контингент работников ПТО.

Стремительный рост возможностей вычислительной техники дал серьезный толчок в совершенствовании информационно-управляющих и контрольно-диагностических систем железнодорожного транспорта. В целях минимизации затрат, получения комплексной оценки состояния подвижного состава как в части технического, так и в части коммерческого осмотра, а также реализации функций прогнозирования ресурса грузового вагона и автоматизации технологических процессов работы станций предлагается внедрить на полигоне Забайкальской железной дороги «Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях» (далее ППСС).

Задача комплекса – находить в автоматическом режиме технические и коммерческие неисправности вагонов, устанавливать факты смещения груза и изменения его веса и оперативно передавать сведения профильным специалистам.

ППСС является разработкой АО «НИИАС» в рамках проекта «Цифровая сортировочная станция». Он представляет собой металлическую арку (рамку), оснащенную приборами для снятия информации о проходящих сквозь нее грузовых вагонах, в том числе лазерными, тепловыми, тензометрическими датчиками, специализированными камерами технического зрения.

Важной особенностью системы является то, что еще до прибытия поезда на станцию оператор пункта технического обслуживания владеет информацией о количестве сработавших показателей тревоги в составе (диагностический, предаварийный или аварийный) и приступает к визу-

альному осмотру и анализу сформированных средствами ППСС тревог по неисправностям. Далее осмотрщики-ремонтники вагонов выполняют дополнительный осмотр, связанный с конкретными неисправностями, которые передал оператор. При этом необходимость полного технического обслуживания состава, как было при отсутствии поста, отпадает.

Эффективность использования системы заключается в данных показателях:

- повышение безопасности перевозочного процесса;
- увеличение пропускной способности станции;
- снижение трудозатрат при коммерческом осмотре и техническом обслуживании вагонов;
- снижение степени негативного влияния человеческого фактора;
- повышение уровня достоверности диагностической информации;
- оптимизация численности штата;
- сокращение времени осмотра подвижного состава;
- повышение качества контроля веса подвижного состава и груза;
- контроль сохранности элементов подвижного состава;
- сокращение эксплуатационных затрат и прочее.

Это мероприятие позволило увеличить пропускную способность станций, при этом существенно сократились простои транзитных поездов под техническими операциями на 94,71 поездо-часов или на 14 %, что позволило повысить маршрутную скорость следования грузовых поездов по участку в среднем по дороге на 1 км/ч.

При расчете экономической целесообразности изменения участков гарантийной ответственности безопасного следования грузовых вагонов в техническом отношении за счет внедрения систем ППСС определен экономический эффект от сокращения контингента работников ПТО и уменьшения поездо-часов простоя поездов на станционных путях. Суммарный экономический эффект составил 343351739 руб. Проведенное исследование доказывает экономическую целесообразность изменения участков гарантийной ответственности безопасного следования грузовых вагонов в техническом отношении.

#### *Библиографический список*

1. Альбом гарантийных участков безопасного проследования грузовых поездов на железных дорогах России на 27.12.2022 г. № ИСХ-92/ЦДИ от 09.01.2023. – 38 с. – Текст : непосредственный.
2. Дуров, Е. А. Робототехнические комплексы обслуживания подвижного состава российских железных дорог / Е. А. Дуров, В. В. Кудю-



кин, К. А. Котова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 9. – С. 3–15.

3. Инструкция по организации системы контроля технического состояния подвижного состава в пути следования на Забайкальской железной дороге № ЗАБ-59 от 03.03.2023. – 65 с. – Текст : непосредственный.

4. Положение об организации работы пунктов технического обслуживания грузовых и пассажирских вагонов на инфраструктуре ОАО «РЖД» № 795-2016 ПКБ ЦВ [утверждено ОАО «РЖД» от 7 декабря 2016 г. № 2475р]. – Москва, 2016. – 26 с. – Текст : непосредственный.

5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 18.03.2016 № 469р «Об утверждении и вводе в действие Инструкции по размещению, установке и эксплуатации средств автоматического контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда» в ред. от 26.05.2022 г. – 50 с. – Текст : непосредственный.

6. Типовой технологический процесс «Техническое обслуживание грузовых вагонов» ТК-425 [утверждён ОАО «РЖД» от 2 марта 2018 года № 436/р в ред. от 21.07.2022 года]. – 157 с. – Текст : непосредственный.

**С. С. Смирнов, В. В. Костенко**

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

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРИГОРОДНО-ГОРОДСКИМИ ПАССАЖИРОПОТОКАМИ С ПОМОЩЬЮ ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ**

*В статье рассматривается зависимость между величиной тарифов, удобством оплаты проезда и распределением пассажиропотока в транспортных системах городов. В качестве примера представляется анализ пассажиропотока Витебского направления пригородных поездов Санкт-Петербурга. Описываются факторы, которые влияют на выбор пассажирами вида транспорта при регулярных перемещениях. Исследование пассажиропотока выполняется на основе официальной статистики с учётом особенностей административно-территориального деления Санкт-Петербурга. Исследование выполняется для поиска способов снижения нагрузки на отдельные элементы транспортных сетей городов.*

*Ключевые слова: пассажиропоток, пригородный поезд, тариф, городская агломерация, население, маятниковая миграция.*

Одной из моделей для построения матрицы корреспонденций является гравитационная [1]. В ее основе лежит утверждение, что между пунктами зарождения и погашения потоков существует «транспортное тяготение». В самой простой форме гравитационная модель имеет вид:

$$\rho_{ij} = \alpha \frac{s_i d_j}{c_{ij}^2}, \quad (1)$$

где  $s_i$  – общий объем выезжающих из пункта  $i \in S$ ,  $d_j$  – общий объем выезжающих в пункт  $j \in D$ ,  $c_{ij}$  – удельные затраты на передвижение из  $i$  в  $j$ ,  $\alpha$  – калибровочный коэффициент.

Из (1) следует, что при увеличении удельных затрат на передвижение из  $i$  в  $j$ , поток между этими пунктами уменьшается. Под затратами здесь следует понимать не только стоимость проезда, но и затрачиваемое время.

Нередко возникает ситуация, когда транспорт или инфраструктура не справляются с количеством пассажиров. В такой ситуации возникает вопрос, как изменить направление пассажиропотока. С учетом (1), перенаправить пассажиров можно регулировкой затрат на их перемещение, что рассмотрено в данной статье на примере Пушкинского района Санкт-Петербурга.

В рассматриваемом районе пригородные поезда являются основным видом транспорта, которым пользуются люди с целью пересадки на станции метро Купчино и Пушкинская. Станция Шушары не рассматривается в качестве пересадочной из-за значительной удаленности от пригородной линии. Кроме того, станция расположена на окраине одноименного муниципального образования в промышленной зоне, из-за чего суточный пассажиропоток в 2023 году



**Рис. 1.** Рассматриваемый участок

не превышает 10 тыс. пасс. Схема рассматриваемого участка пригородной линии и отдельные станции метро приведены на рис. 1.

Учитывая прямолинейность участка от Павловска до Витебского вокзала, логично предположить, что пассажиры, следующие к северу от станции метро Пушкинская и в центральную часть города, при выборе маршрута отдали бы предпочтение пригородному поезду. Но при детальном рассмотрении оказывается, что маршрут с использованием пригородного электропоезда на участке Купчино – СПб-Витебский более затратный, чем с использованием метрополитена, что отражено на схеме, приведенной на рис. 2.

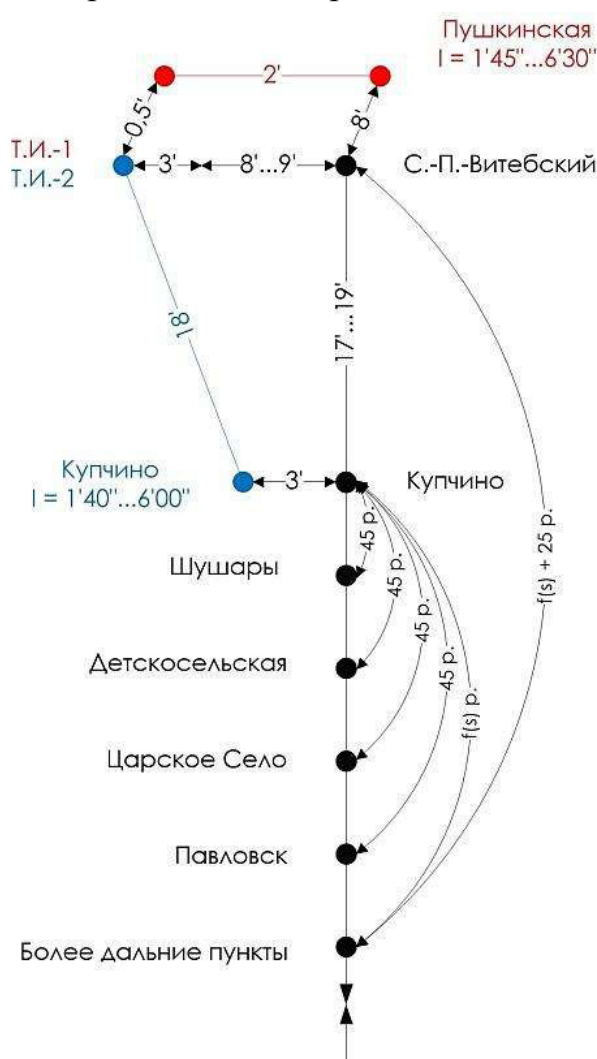


**Рис. 2.** Существующие затраты в разрезе времени поездки и стоимости<sup>1</sup> проезда

По состоянию на конец 2023 года, на перевозки в пригородном сообщении на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области установлен комбинированный тариф – сумма фиксированной ставки за одну поездку на определенное тарифное расстояние и при проезде свыше данного тарифного расстояния – плата по фиксированной ставке за каждый километр [2]. В соответствии с тарифом «стандарт» в ценах 2023 года [3, 4], разница в стоимости проезда из пригородной зоны до ст. СПб-Витебский-Пассажирский относительно стоимости проезда до пл. Купчино отражена на диаграмме, представленной на рис. 3.

В 2019 году, так же, как и в 2023 году, существовало разделение тарифов на «стандарт», «комфорт» и «ласточка» [5, 6], что делает возможным ориентирование на данные по пассажиропотоку за 2019 год, представленные на рис. 4.

<sup>1</sup> Здесь и далее рассматривается тариф «Стандарт» в ценах 2023 года.



**Рис. 3.** Разница в стоимости одной поездки от указанных пунктов отправления

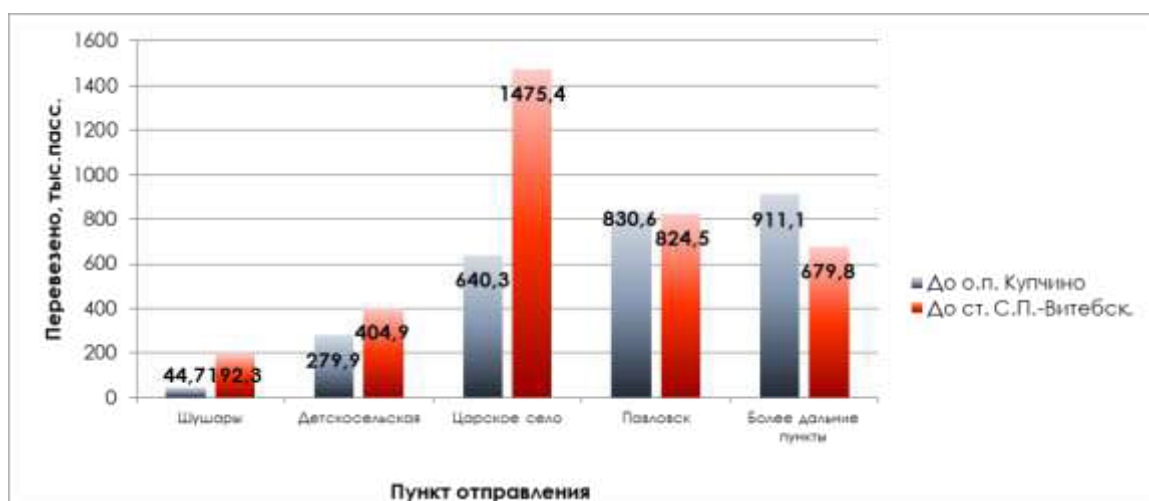


**Рис. 4.** Количество перевезенных пассажиров от указанных пунктов отправления

Из приведенных данных следует, что для пунктов отправления, из которых разница в стоимости проезда невелика или отсутствует, значительная часть пассажиропотока устремляется к головной станции участка. Для пунктов, где разница значительна (Павловск и более дальние), большая часть пассажиров устремляется к пл. Купчино, являющейся пересадочной, что создает нагрузку на одноименную станцию метро. Московско-Петроградская линия работает уже на пределе своей пропускной способности – межпоездной интервал в утренний «час пик» составляет 1 минуту 40 секунд [7], что говорит о необходимости перераспределения нагрузки.

Ввиду роста численности населения (рис. 5) пос. Шушары [8], потребность в перевозках устойчиво возрастает. Население остальных муниципальных образований Пушкинского района Санкт-Петербурга сравнительно стабильно.

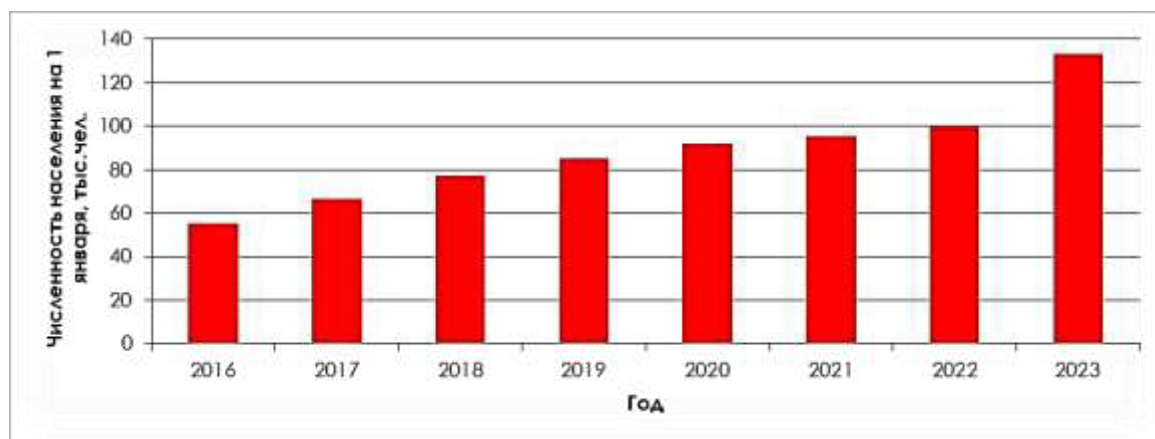


**Рис. 5.** Динамика численности населения пос. Шушары

Стоит отметить, что пос. Шушары имеет весьма обширную площадь – 106,5 км<sup>2</sup>, границы которой указаны на рис. 6 [9]. Жилая застройка располагается преимущественно в зоне тяготения пл. Шушары, пл. Детскосельская и ст. Царское Село.

Потребность в перевозках на рассматриваемом направлении будет увеличиваться и дальше, т.к. продолжается строительство жилых комплексов. В частности, на рис. 7 представлены подлежащие застройке территории с действующими разрешениями на строительство [10].

В существующих обстоятельствах, рост численности населения будет увеличивать пассажиропоток к станции метро Купчино и увеличивать нагрузку на загруженную Московско-Петроградскую линию. Чтобы избежать чрезмерной загрузки метро, часть пассажиропотока из Павловска и Ленинградской области следует перенаправить в центр Санкт-Петербурга. Для достижения этой цели следует сделать так, чтобы затраты на проезд до Витебского вокзала хотя бы не превышали затраты на проезд до Купчино.

С точки зрения тарифов, чтобы уровнять затраты на проезд до Витебского вокзала и Купчино, в пределах административных границ Санкт-Петербурга следует ввести зонный тариф, а за их пределами оставить существующий. Пример возможного изменения тарифов представлен в формате тарифной сетки на рис. 8–9.



**РАЗДЕЛ 4. Организация перевозок и управление движением поездов.  
Грузовая и коммерческая работа**

---

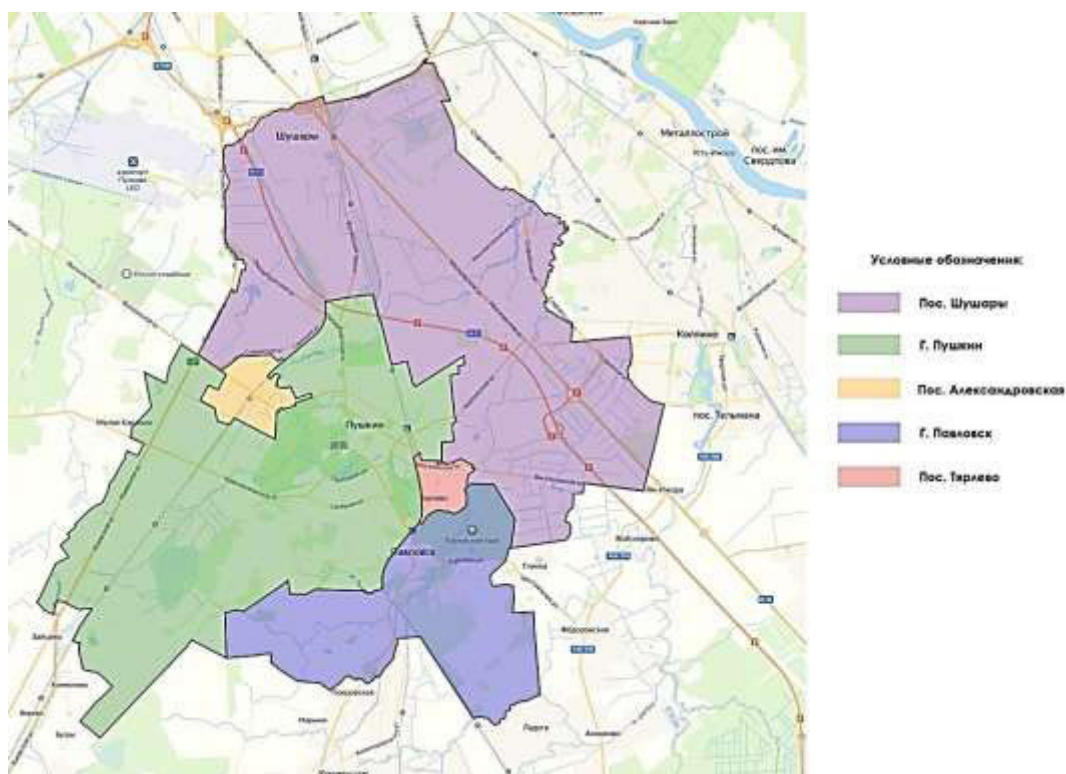


**Рис. 6.** Границы муниципальных образований  
Пушкинского района Санкт-Петербурга



**Рис. 7.** Территории, на которые имеются действующие разрешения на строительство

| Станция<br>отправления | С-ПЕТ-ВИТ | БОРОВАЯ | ВОЗД ПАРК | ПР СЛАВЫ | КУПЧИНО | ШУШАРЫ | ПАРОВОЗ М | ДЕТСКОСЕЛЬ | ЦАРСКОЕ СЕ | ПАВЛОВСК | ГРАН78_47 | АНТРОПШИНО | КОБРАЛОВО | СЕМРИНО | ОП 46 КМ | СУСАНИНО | КМ |
|------------------------|-----------|---------|-----------|----------|---------|--------|-----------|------------|------------|----------|-----------|------------|-----------|---------|----------|----------|----|
| С-ПЕТ-ВИТ              | 0,00      | 45,00   | 45,00     | 45,00    | 45,00   | 45,00  | 45,00     | 47,25      | 51,75      | 58,50    |           | 77,70      | 95,34     | 112,98  | 118,86   | 127,68   | 0  |
| БОРОВАЯ                | 45,00     | 0,00    | 45,00     | 45,00    | 45,00   | 45,00  | 45,00     | 45,00      | 47,25      | 54,00    |           | 73,20      | 90,84     | 108,48  | 114,36   | 123,18   | 2  |
| ВОЗД ПАРК              | 45,00     | 45,00   | 0,00      | 45,00    | 45,00   | 45,00  | 45,00     | 45,00      | 45,00      | 45,00    |           | 70,95      | 88,59     | 106,23  | 112,11   | 120,93   | 3  |
| ПР СЛАВЫ               | 45,00     | 45,00   | 45,00     | 0,00     | 45,00   | 45,00  | 45,00     | 45,00      | 45,00      | 45,00    |           | 59,70      | 77,34     | 94,98   | 100,86   | 109,68   | 8  |
| КУПЧИНО                | 45,00     | 45,00   | 45,00     | 45,00    | 0,00    | 45,00  | 45,00     | 45,00      | 45,00      | 45,00    |           | 55,20      | 72,84     | 90,48   | 96,36    | 105,18   | 10 |
| ШУШАРЫ                 | 45,00     | 45,00   | 45,00     | 45,00    | 45,00   | 0,00   | 45,00     | 45,00      | 45,00      | 45,00    |           | 45,00      | 66,09     | 83,73   | 89,61    | 98,43    | 13 |
| ПАРОВОЗ М              | 45,00     | 45,00   | 45,00     | 45,00    | 45,00   | 45,00  | 0,00      | 45,00      | 45,00      | 45,00    |           | 45,00      | 59,34     | 76,98   | 82,86    | 91,68    | 16 |
| ДЕТСКОСЕЛЬ             | 47,25     | 45,00   | 45,00     | 45,00    | 45,00   | 45,00  | 45,00     | 0,00       | 45,00      | 45,00    |           | 45,00      | 45,00     | 65,73   | 71,61    | 80,43    | 21 |
| ЦАРСКОЕ СЕ             | 51,75     | 47,25   | 45,00     | 45,00    | 45,00   | 45,00  | 45,00     | 45,00      | 0,00       | 45,00    |           | 45,00      | 45,00     | 61,23   | 67,11    | 75,93    | 23 |
| ПАВЛОВСК               | 58,50     | 54,00   | 45,00     | 45,00    | 45,00   | 45,00  | 45,00     | 45,00      | 45,00      | 0,00     |           | 41,16      | 41,16     | 54,48   | 60,36    | 69,18    | 26 |
| ГРАН78_47              |           |         |           |          |         |        |           |            |            | 0,00     |           |            |           |         |          |          | 28 |
| АНТРОПШИНО             | 77,70     | 73,20   | 70,95     | 59,70    | 55,20   | 45,00  | 45,00     | 45,00      | 45,00      | 41,16    |           | 0,00       | 41,16     | 41,16   | 41,16    | 49,98    | 33 |
| КОБРАЛОВО              | 95,34     | 90,84   | 88,59     | 77,34    | 72,84   | 66,09  | 59,34     | 45,00      | 45,00      | 41,16    |           | 41,16      | 0,00      | 41,16   | 41,16    | 41,16    | 39 |
| СЕМРИНО                | 112,98    | 108,48  | 106,23    | 94,98    | 90,48   | 83,73  | 76,98     | 65,73      | 61,23      | 54,48    |           | 41,16      | 41,16     | 0,00    | 41,16    | 41,16    | 45 |
| ОП 46 КМ               | 118,86    | 114,36  | 112,11    | 100,86   | 96,36   | 89,61  | 82,86     | 71,61      | 67,11      | 60,36    |           | 41,16      | 41,16     | 41,16   | 0,00     | 41,16    | 47 |
| СУСАНИНО               | 127,68    | 123,18  | 120,93    | 109,68   | 105,18  | 98,43  | 91,68     | 80,43      | 75,93      | 69,18    |           | 49,98      | 41,16     | 41,16   | 41,16    | 0,00     | 50 |
| КМ                     | 0         | 2       | 3         | 8        | 10      | 13     | 16        | 21         | 23         | 26       | 28        | 33         | 39        | 45      | 47       | 50       |    |

Рис. 8. Тарифная сетка по состоянию на 2023 год

| Станция<br>отправления | С-ПЕТ-ВИТ | БОРОВАЯ | ВОЗД ПАРК | ПР СЛАВЫ | КУПЧИНО | ШУШАРЫ | ПАРОВОЗ М | ДЕТСКОСЕЛЬ | ЦАРСКОЕ СЕ | ПАВЛОВСК | ГРАН78_47 | АНТРОПШИНО | КОБРАЛОВО | СЕМРИНО | ОП 46 КМ | СУСАНИНО | КМ |
|------------------------|-----------|---------|-----------|----------|---------|--------|-----------|------------|------------|----------|-----------|------------|-----------|---------|----------|----------|----|
| С-ПЕТ-ВИТ              | 0,00      | 50,00   | 50,00     | 50,00    | 50,00   | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 50,00    |           | 64,70      | 82,34     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 0  |
| БОРОВАЯ                | 50,00     | 0,00    | 50,00     | 50,00    | 50,00   | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 50,00    |           | 64,70      | 82,34     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 2  |
| ВОЗД ПАРК              | 50,00     | 50,00   | 0,00      | 50,00    | 50,00   | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 50,00    |           | 64,70      | 82,34     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 3  |
| ПР СЛАВЫ               | 50,00     | 50,00   | 50,00     | 0,00     | 50,00   | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 50,00    |           | 64,70      | 82,34     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 8  |
| КУПЧИНО                | 50,00     | 50,00   | 50,00     | 50,00    | 0,00    | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 50,00    |           | 64,70      | 82,34     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 10 |
| ШУШАРЫ                 | 50,00     | 50,00   | 50,00     | 50,00    | 50,00   | 0,00   | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 50,00    |           | 50,00      | 82,34     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 13 |
| ПАРОВОЗ М              | 50,00     | 50,00   | 50,00     | 50,00    | 50,00   | 50,00  | 0,00      | 50,00      | 50,00      | 50,00    |           | 50,00      | 82,34     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 16 |
| ДЕТСКОСЕЛЬ             | 50,00     | 50,00   | 50,00     | 50,00    | 50,00   | 50,00  | 50,00     | 0,00       | 50,00      | 50,00    |           | 50,00      | 50,00     | 99,98   | 105,86   | 114,68   | 21 |
| ЦАРСКОЕ СЕ             | 50,00     | 50,00   | 50,00     | 50,00    | 50,00   | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 0,00       | 50,00    |           | 50,00      | 50,00     | 61,23   | 67,11    | 75,93    | 23 |
| ПАВЛОВСК               | 50,00     | 50,00   | 50,00     | 50,00    | 50,00   | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 0,00     |           | 41,16      | 41,16     | 54,48   | 60,36    | 69,18    | 26 |
| ГРАН78_47              |           |         |           |          |         |        |           |            |            | 0,00     |           |            |           |         |          |          | 28 |
| АНТРОПШИНО             | 64,70     | 64,70   | 64,70     | 64,70    | 64,70   | 50,00  | 50,00     | 50,00      | 50,00      | 41,16    |           | 0,00       | 41,16     | 41,16   | 41,16    | 49,98    | 33 |
| КОБРАЛОВО              | 82,34     | 82,34   | 82,34     | 82,34    | 82,34   | 82,34  | 82,34     | 50,00      | 50,00      | 41,16    |           | 41,16      | 0,00      | 41,16   | 41,16    | 41,16    | 39 |
| СЕМРИНО                | 99,98     | 99,98   | 99,98     | 99,98    | 99,98   | 99,98  | 99,98     | 99,98      | 61,23      | 54,48    |           | 41,16      | 41,16     | 0,00    | 41,16    | 41,16    | 45 |
| ОП 46 КМ               | 105,86    | 105,86  | 105,86    | 105,86   | 105,86  | 105,86 | 105,86    | 105,86     | 67,11      | 60,36    |           | 41,16      | 41,16     | 41,16   | 0,00     | 41,16    | 47 |
| СУСАНИНО               | 114,68    | 114,68  | 114,68    | 114,68   | 114,68  | 114,68 | 114,68    | 114,68     | 75,93      | 69,18    |           | 49,98      | 41,16     | 41,16   | 41,16    | 0,00     | 50 |
| КМ                     | 0         | 2       | 3         | 8        | 10      | 13     | 16        | 21         | 23         | 26       | 28        | 33         | 39        | 45      | 47       | 50       |    |

Рис. 9. Тарифная сетка с учетом предлагаемых изменений

Как видно из представленных тарифных сеток, возможен подбор зонного тарифа таким образом, что относительно действующих тарифов проезд до Купчино может стать дороже, а до Витебского вокзала дешевле, что повлияет на выбор маршрута пассажирами.

Стоит отметить, что время в пути тоже относится к затратам пассажиров на перемещение. Тем не менее, на рассматриваемом направлении электропоезда со всеми остановками с конца XX века следуют все с меньшей скоростью, хотя количество остановок от Купчино до Витебского вокзала не изменилось, а установленные скорости были увеличены.

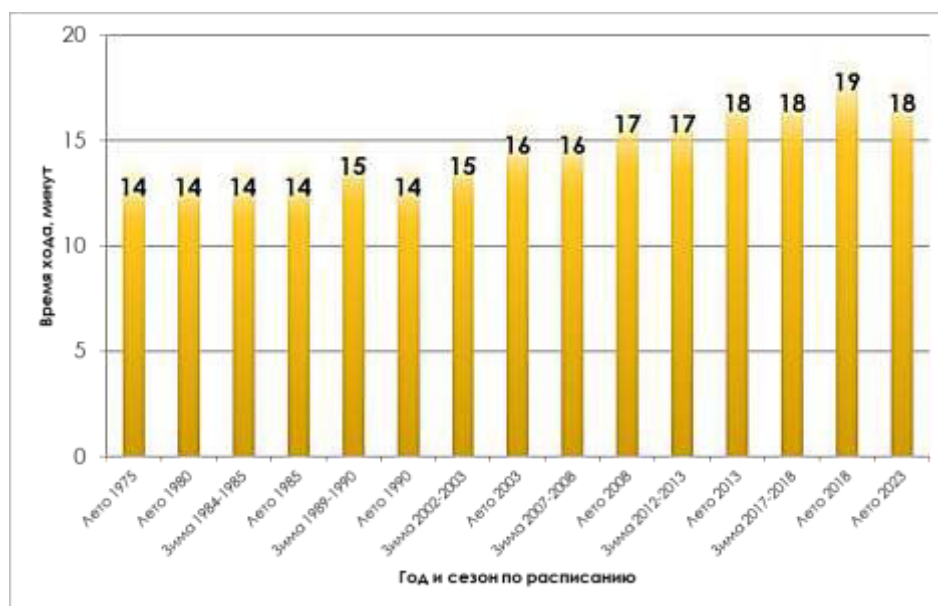


**Рис. 10.** Динамика изменения времени в пути от пл. Купчино до ст. СПб-Витебский-Пасс.

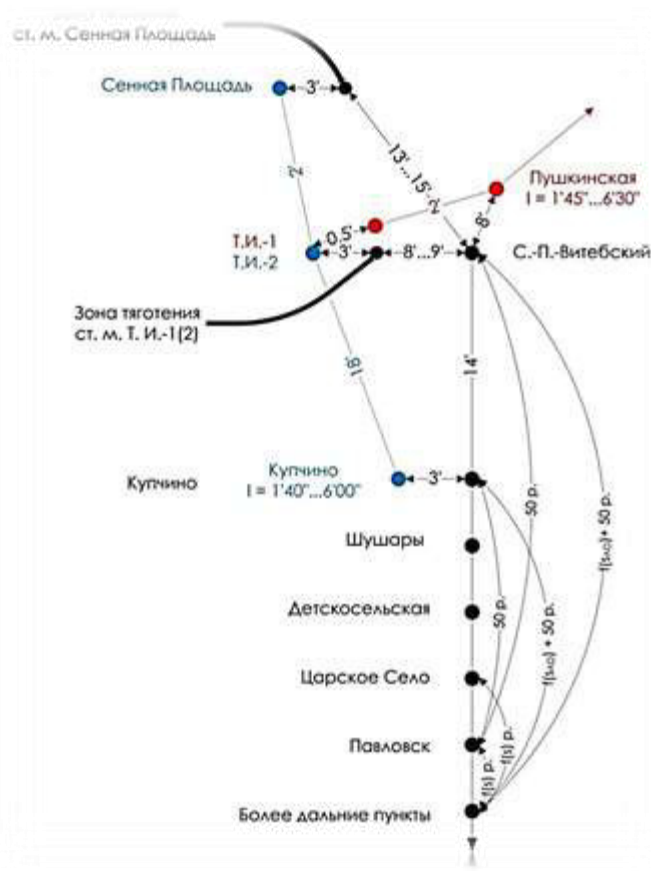


**Рис. 11.** Затраты на проезд в разрезе времени в пути и стоимости проезда после предложенных изменений

При уменьшении времени хода и установлении зонного тарифа, расширяется и зона охвата пассажиропотока в Санкт-Петербурге: зоны тяготения станций метро Сенная Площадь и Технологический Институт, что отражено на рис. 11.

Расширение зоны охвата пригородных перевозок позволяет предполагать, что произойдет перераспределение части пассажиропотока на пригородные поезда, что должно помочь метрополитену и городскому транспорту в целом освоить возрастающий пассажиропоток из Пушкинского района.

#### *Библиографический список*

1. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А. В. Гасников, С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский [и др.]. – Издание 2-е, исправленное и дополненное. – Москва : Московский центр непрерывного математического образования, 2013. – 428 с. – Текст : непосредственный.

2. Приказ Минтранса России от 05.09.2022 № 352 «Об утверждении Правил перевозок пассажиров, багажа, грузобагажа железнодорожным транспортом» [зарегистрировано в Минюсте России 27.10.2022 № 70720]. – Текст : непосредственный.

3. Распоряжение № 221-р от 04.12.2023 «Об установлении предельных максимальных тарифов на услуги акционерного общества «Северо-Западная пригородная пассажирская компания» по перевозке пассажиров железнодорожным транспортом в пригородном сообщении на территории Санкт-Петербурга на 2023 год». – Текст : непосредственный.

4. Приказ Комитета по тарифам и ценовой политике Ленинградской области № 547-п от 06.12.2022 «Об установлении предельных, максимальных тарифов на услуги акционерного общества «Северо-Западная пригородная пассажирская компания» по перевозке пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в пригородном сообщении на территории Ленинградской области на 2023 год». – Текст : непосредственный.

5. Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 07.12.2018 № 183-р «Об установлении предельных максимальных тарифов на услуги акционерного общества «Северо-Западная пригородная пассажирская компания» по железнодорожным перевозкам пассажиров в пригородном сообщении на территории Санкт-Петербурга на 2019 год». – Текст : непосредственный.

6. Приказ Комитета по тарифам и ценовой политике Ленинградской области № 435-п от 19.12.2018 «Об установлении предельных тарифов



на перевозку пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в пригородном сообщении на территории Ленинградской области, осуществляемую акционерным обществом «Северо-Западная пригородная пассажирская компания», на 2019 год». – Текст : непосредственный.

7. ГУП «Петербургский метрополитен». – Санкт-Петербург, 2023. – URL : <http://www.metro.spb.ru> (дата обращения: 01.10.2023). – Текст : электронный.

8. Федеральная служба государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области. – Санкт-Петербург, 2023. – URL : <https://78.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 01.10.2023). – Текст : электронный.

9. Закон Санкт-Петербурга от 25 июля 2005 г. № 411-68 «О территориальном устройстве Санкт-Петербурга» с изменениями и дополнениями на 30 января 2023 года [принят Законодательным Собранием Санкт-Петербурга 30 июня 2005 года]. – Текст : непосредственный.

10. Градостроительный портал Санкт-Петербурга. – Санкт-Петербург, Комитет по градостроительству и архитектуре, 2023. – URL : <https://portal.kgainfo.spb.ru/KGAMap/Map>. (дата обращения: 01.10.2023). – Текст : электронный.

**Г. И. Суханов, Р. С. Большаков, А. В. Супруновский**  
*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕРЫВОВ**

*Рассматриваются особенности проведения технологических перерывов движения на железнодорожном транспорте при производстве ремонтных работ. Оценивается влияние технических возможностей комплекса путевых машин при различных значениях длин закрытых перегонов на продолжительность технологического «окна». Предлагается подход к оценке производительности путевых машин при реализации технологических перерывов с учётом времени работы каждой отдельной единицы техники. Приведены расчёты продолжительности технологических перерывов в зависимости от длины закрытого перегона.*

*Ключевые слова: технологический перерыв, технические характеристики, производительность, технологическое «окно».*



Техническое оснащение железнодорожного транспорта в настоящее время используется на полную мощность, в частности, для реализации основных стратегических задач отрасли [1–3]. Интенсивная эксплуатация объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта приводит к возникновению неисправностей технических устройств, отвечающих в том числе и за безопасность движения поездов [4–6]. Данное обстоятельство вынуждает больше внимания уделять развитию подходов, связанных с оценкой продолжительности проведения технологических перерывов на осуществление ремонтных работ [7–9].

**I. Общие положения. Постановка задачи.** Для производства ремонтных работ по модернизации пути с выработкой 1000 м/сут в режиме «закрытых перегонов» требуется комплекс машин: разборочный поезд, укладочный поезд, кран УК-25/9-18, ВПО – 3000, дуомат, планировщик балласта ПБ, ДСП-С, хоппер-дозаторный состав ХДВ, мотовоз АДМ, щебнеочистительная машина РМ-80, щебнеочистительная машина СЧ-601, щебнеочистительная машина ЩОМ-6, плетевкладочный поезд, рельсосборочный поезд, путевая рельсосварочная машина ПРСМ, рельсовозный состав, машина МКТ-1П (СЗП-600), ЭЛБ – 3 с известной производительностью [10]. Для реализации заявленных технических характеристик при производстве работ на участке примерно 4 км в 42-часовой технологический перерыв потребуется: 3 разборочных поезда (каждый длиной 700 метров); 3 укладочных поезда (каждый длиной 700 метров); комплекс машин ВПО-3000 200 метров; комплекс машин Дуомат, планировщик балластной призмы (ПБ), динамический стабилизатор пути (ДСП); 4 хоппер-дозаторного состава ХДВ (600 метров каждый); 2 мотовоза АДМ; Щебнеочистительные машины типа РМ, СЧ, ЩОМ с составами засорителей в общем количестве 4 шт – 1000 метров; 2 плетевкладочных поезда – 200 метров; 2 рельсосборочных поезда – 200 метров; 2 машины ПРСМ – 100 метров; 3-х-ярусный рельсовозный состав – 920 метров; машины МКТ (СЗП) с составами засорителей 300 метров.

При заданных параметрах необходимо определить значения временных параметров производства работ в «окно».

**II. Определение необходимого времени проведения технологического перерыва.** Для расчета выработки необходимо рассчитать время работы комплекса. Так как часть операций происходят параллельно, расчет производится по ограничивающим элементам. Время на производство ремонтных работ  $t$  составляет:

$$t = \frac{L_{\Phi}}{П_B}, \quad (1)$$

где  $L_{\Phi}$  – фронт работ в технологическое окно, км;  $P_B$  – темп выполнения ведущей операции при ремонте пути или технологическая производительность ведущей машины, км/ч.

В этом случае суммарные временные затраты составят:

$$t = 4.7 + \frac{2}{0.21} + \frac{0.7}{0.156} + \frac{0.25}{0.1} + \frac{2}{0.3} + \frac{1}{2.22} + \frac{4}{0.4} = 42 \text{ часа.}$$

Выражение для определения выработки будет иметь вид:

$$\partial = 24 \frac{S}{t}, \quad (2)$$

где  $\partial$  – выработка, км/сут;  $S$  – объем работ, км.

Выработка в этом случае составит:

$$\partial = 24 \frac{4.8}{42} = 2.7, \text{ км/сутки.}$$

Для увеличения общей производительности всего комплекса машин могут быть использованы дополнительные устройства с улучшенным техническим оснащением: щебнеочистительная машина ЩОМ-1200ПУ (0,6 км/час), машина МКТ-500 (0,35 км/час). В этом случае время на производство ремонтных работ  $t_{\text{окна}}$  составит 36 часов, а выработка составит

$$\partial = 24 \frac{4.8}{36} = 3.2, \text{ км/сутки.}$$

**II. Оценка экономической эффективности.** Сравнение показывает, что приобретение путевых машин ЩОМ-1200ПУ и МКТ-500 увеличит выработку на 0,5 км/сутки, что напрямую влияет на общее количество технологических перерывов за рассматриваемый период, которое определяется с учётом  $t$ :

$$n = \frac{L_{200}}{\sum L_{\Phi} - L_{\text{отв}}} + n_{\text{нз}}, \quad (3)$$

где  $L_{200}$  – годовая плановая потребность в ремонтно-путевых работах или работах по текущему содержанию с применением механизированных машинных комплексов на участке, км,  $L_{\text{отв}}$  – длина отвода, км,  $n_{\text{нз}}$  – количество подготовительных и заключительных технологических окон.

Примем следующие значения параметров:  $L_{\text{год}} = 150000$  км;  $\Sigma L_{\Phi} = 4800$  км;  $L_{\text{отв}} = 0,2$  км;  $n_{\text{пз}} = 2$ .

$$n = \frac{150000}{4800 - 0,2} + 2 = 33.$$

В конце каждого фронта работ в случае необходимости делается отвод, который в следующее технологическое окно является начальным участком работ. Для каждой работы длина отвода своя и зависит от многих факторов (глубина вырезки, разность отметок отремонтированного пути и примыкающего участка и др.).

Тогда, годовые затраты на производство ремонтно-путевых работ на участке при технологических окнах определенной продолжительности определяются как:

$$Z_{\text{год}} = 10^{-3} Z_o n, \text{ млн руб.} \quad (4)$$

где  $Z_o$  – общие затраты на ремонтно-путевые работы или работы по текущему содержанию пути с применением механизированных машинных комплексов при технологических окнах, тыс. руб. (условно примем затраты в размере 3000 тыс. руб.).

$$Z_{\text{год}} = 10^{-3} 3000 \cdot 33 = 99, \text{ млн руб.}$$

Рассмотренная методика может быть использована как при оценке количества «окон», так и при определении общей суммы затрат на их проведение.

**Заключение.** Таким образом, эффективная реализация перевозочных процессов напрямую зависит от исправности объектов инфраструктуры, ремонт которых осуществляется при помощи комплекса путевых машин, а изменение длины ремонтируемого участка предполагает различные варианты использования производительности этих технических средств, так как не всегда требуется усиленный режим их эксплуатации. Рассчитаны некоторые варианты изменения продолжительности технологических перерывов в зависимости от длины ремонтируемого участка. Использование представленной методики для дальнейших исследований позволит проанализировать влияние параметров, входящих во время проведения технологического перерыва, на общую экономическую эффективность реализации ремонтных работ.

*Библиографический список*

1. Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО «РЖД» и Российской академией наук / Н. А. Махутов, Б. М. Лapidус, М. М. Гаденин, Е. Ю. Титов. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 7. – С. 6–11.

2. Козловский, А. П. Влияние изменения технологии управления тяговыми ресурсами Восточного полигона на эксплуатационную работу / А. П. Козловский, Г. И. Суханов, А. В. Супруновский. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 2 (62). – С. 234–241. – DOI 10.26731/1813-9108.2019.2(62).234-241. – EDN NRLEWO.

3. Суханов, Г. И. Распределение времени при организации работы локомотивных бригад / Г. И. Суханов, А. В. Супруновский. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 3 (13). – С. 140–147. – EDN EPFOEW.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661676 Российская Федерация. Программа для определения технико-эксплуатационных показателей работы стыковой железнодорожной станции на основе использования статистических данных и вариантных прогнозных сценариев колебаний поступающих вагонопотоков : № 2022660561 : заявл. 07.06.2022 : опубл. 24.06.2022 / Е. В. Маловецкая, А. В. Супруновский, А. К. Мозалевская ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения». – EDN SJVAYJ. – Текст : непосредственный

5. Маловецкая, Е. В. Возможности повышения эффективности перевозочного процесса на основе построения комплексных прогнозных моделей загрузки инфраструктуры / Е. В. Маловецкая, А. К. Мозалевская. – Текст : непосредственный // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2023. – Т. 17, № 7. – С. 38–46. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-7-38-46. – EDN IAEWSG.

6. Маловецкая, Е. В. Оценка влияния неравномерностей на перевозочный процесс / Е. В. Маловецкая, А. К. Мозалевская. – Текст : непосредственный // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2-х частях. Гомель, 24–25 ноября 2022 года. – Гомель : Белорусский государственный университет транспорта, 2022. – С. 207–209. – EDN BRTMRC.

7. Суханов, Г. И. Оценка эксплуатационной работы станции в условиях оптимизации тяговых плеч локомотивов / Г. И. Суханов, А. В. Супруновский, Н. В. Давыдова. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Том 1. – С. 93–103. – EDN NRBZLP.

8. Суханов, Г. И. Современные аспекты планирования технологических перерывов / Г. И. Суханов, Р. С. Большаков, А. В. Супруновский. – Текст : непосредственный // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2023. – № 4 (37). – С. 101–108. – EDN ZQDFVO.

9. Суханов, Г. И. Увеличение провозной способности железной дороги Монголии при создании новых транспортных коридоров / Г. И. Суханов, А. В. Супруновский, Д. Баясгалан. – Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 3 (75). – С. 120–129. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.3(75).120-129. – EDN YUODVW.

10. Габитов, А. Г. Совершенствование системы ведения рельсового хозяйства / А. Г. Габитов, Е. В. Филатов. – Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Том 1. – С. 432–438. – EDN WGBTNN.

***Р. С. Устемирова***

*Международный транспортно-гуманитарный университет,  
г. Алматы, Республика Казахстан*

***А. Б. Рыскулова***

*Казахстанско-Немецкий университет,  
г. Алматы, Республика Казахстан*

## **УЛУЧШЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПУСКА КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ В НАЦИОНАЛЬНОЙ КОМПАНИИ «ҚАЗАҚСТАН ТЕМІР ЖОЛЫ»**

*Национальная компания «Қазақстан Темір Жолы» играет ключевую роль в транспортной системе Казахстана, обеспечивая грузоперевозки как внутри страны, так и в международном сообщении. В условиях роста объёмов контейнерных перевозок и глобальной экономической динамики, компания сталкивается с необходимостью оптимизации процесса пропуска контейнерных поездов. В статье предлагается комплексный анализ текущих процессов и обозначаются направления для их*



улучшения с целью повышения эффективности и конкурентоспособности КТЖ.

В статье рассматриваются ключевые аспекты совершенствования организации пропуска контейнерных поездов, включая: оценку существующих логистических цепочек, обработки грузов и взаимодействия с другими участниками транспортной сети для выявления узких мест и неэффективных практик; использование интегрированных систем управления транспортом и автоматизации процессов для улучшения скорости и точности обработки контейнеров; инвестиции в развитие железнодорожных станций, терминалов и путей для повышения пропускной способности и улучшения распределения грузопотоков; развитие партнерских программ и совместных проектов для улучшения координации и интеграции транспортных процессов; повышение квалификации сотрудников для эффективного использования новых технологий и методов работы; внедрение систем мониторинга KPI для регулярной оценки результатов и корректировки процессов; автоматизацию оформления и проверки документации для ускорения пропуска контейнерных поездов; учёт экологических требований и внедрение энергосберегающих технологий для улучшения экологической ситуации и снижения затрат.

Статья подчёркивает важность комплексного подхода к совершенствованию процессов пропуска контейнерных поездов для сохранения лидерских позиций КТЖ на рынке и эффективного реагирования на современные вызовы логистического ландшафта.

**Ключевые слова:** контейнерные поезда, железнодорожные перевозки, модернизация инфраструктуры, Транскаспийский международный транспортный маршрут (ТМТМ).

Национальная компания «Қазақстан Темір Жолы» (КТЖ) представляет собой важный элемент транспортной инфраструктуры Казахстана, обеспечивая ключевую роль в международных и внутренних железнодорожных перевозках. В последние годы компания сталкивается с растущим объемом контейнерных перевозок, что требует от нее эффективного управления процессами пропуска контейнерных поездов. Национальная компания «Қазақстан Темір Жолы» (КТЖ) занимает ключевое место в транспортной системе Казахстана, обеспечивая эффективное транспортирование грузов по железным дорогам страны и в международном сообщении. В условиях стремительного развития глобальной экономики и увеличения объемов контейнерных перевозок перед КТЖ стоит задача оптимизации и совершенствования процессов пропуска контейнерных поездов.

В период с 2013 года из Китая в страны Европы отправили порядка 85 тысяч контейнерных поездов, из них 80 % проследовали транзитом через территорию Казахстана [1].

Согласно информации пресс-службы национальной компании «Қазақстан темір жолы» 29 февраля 2024 года заместитель председателя правления по логистике АО «НК «ҚТЖ» Е. Койшибаев встретился в Китае с руководителями портовой логистической зоны муниципалитета города Чунцина и логистической платформы Yuxinou (Chongqing) Logistics Co., Ltd.

В ходе встречи АО «KTZ Express» и Yuxinou подписали Соглашение об организации и отправке 200 контейнерных поездов через Казахстан, в том числе по Транскаспийскому международному транспортному маршруту (ТМТМ) с объемом грузов более 20 тыс. ДФЭ.

Уже с начала текущего года Yuxinou и КТЖ организован совместный сервис по ТМТМ из Чунцина в Потти (Грузия) со сроками доставки в среднем до 14 дней.

С начала 2024 года АО «НК «ҚТЖ» достигнуты договоренности с логистическими платформами Сиань, Цзянсу, Пекин, Чжэнжоу, Чунцин по организации и отправке 3500 транзитных контейнерных поездов по территории Казахстана, что составляет порядка 350 тыс. ДФЭ [2].

Важную роль в укреплении нашего транзитного потенциала призван сыграть Транскаспийский маршрут. В среднесрочной перспективе объемы перевозок по данному коридору могут быть увеличены в пять раз. Для этого нужно объединить усилия со странами партнерами – Китаем, Азербайджаном, Грузией, Турцией.

Предстоит построить новый «сухой порт» на переходе «Бахты», ускорить строительство контейнерного хаба в Актау, расширить портовые мощности на Черном море вдоль Среднего коридора. Уже дан старт строительству казахстанских терминалов в китайском Сиане и грузинском порту Потти. Это реальные примеры сопряжения китайского мегапроекта «Пояс и Путь» с нашими национальными инициативами [3].

В данной статье рассматриваются возможные направления для улучшения организации пропуска контейнерных поездов с целью повышения эффективности и конкурентоспособности компании.

Анализ текущих процессов. Для успешного совершенствования необходимо начать с глубокого анализа существующих процессов. Это включает в себя исследование логистических цепочек, процессов обработки грузов на терминалах, а также взаимодействия с другими участниками транспортной сети. Определение узких мест и неэффективных практик позволит выработать стратегию по их устранению.

Внедрение современных информационных технологий. Современные информационные технологии играют ключевую роль в повышении эффективности железнодорожных перевозок. Разработка и внедрение интегрированных систем управления транспортом (TMS) и систем автоматизации процессов могут значительно сократить время обработки контейнерных поездов. Использование технологий для отслеживания движения контейнеров в реальном времени и автоматизация документооборота помогут минимизировать ошибки и ускорить процессы.

Модернизация инфраструктуры. Современная инфраструктура – это основа для эффективной работы железнодорожной сети. Инвестиции в модернизацию железнодорожных станций, контейнерных терминалов и путей являются необходимыми для повышения пропускной способности. Построение новых терминалов в стратегически важных точках поможет разгрузить существующие маршруты и улучшить распределение грузопотоков.

Сотрудничество с партнерами. Эффективное сотрудничество с другими транспортными компаниями и логистическими операторами может значительно повысить координацию и интеграцию процессов. Совместные проекты и партнерские программы по улучшению пропускной способности, обмену информацией и координации операций способствуют более эффективному управлению грузопотоками и снижению издержек.

Обучение и развитие персонала. Квалифицированный и хорошо обученный персонал – залог успешной реализации новых технологий и процессов. Регулярное обучение сотрудников новым технологиям и методам работы позволит повысить их профессионализм и продуктивность. Программы повышения квалификации и развития навыков управления временем и ресурсами помогут адаптироваться к изменениям и новым требованиям.

Мониторинг и оценка эффективности. Внедрение систем мониторинга ключевых показателей эффективности (KPI) позволит регулярно оценивать результаты и успехи внедренных изменений. Анализ данных и обратная связь помогут своевременно вносить корректировки в процессы и обеспечивать их оптимальное функционирование.

Оптимизация процесса проверки и оформления документации. Эффективное оформление и проверка документации играют важную роль в ускорении процесса пропуска контейнерных поездов. Автоматизация этих процессов и внедрение электронного документооборота способствуют снижению времени на оформление и уменьшению количества ошибок.

Устойчивое развитие и экология. Современные экологические требования также должны учитываться при совершенствовании процессов. Внедрение энергосберегающих технологий и методов утилизации отходов поможет не только улучшить экологическую ситуацию, но и снизить затраты на эксплуатацию.

Современное состояние пропуска контейнерных поездов в Национальной компании «Қазақстан Темір Жолы» характеризуется динамичным развитием и адаптацией к новым требованиям рынка. Совершенствование организации пропуска контейнерных поездов в Национальной компании «Қазақстан Темір Жолы» – это комплексный процесс, требующий внимания к множеству аспектов. Внедрение современных технологий, модернизация инфраструктуры, улучшение взаимодействия с партнерами и развитие персонала позволят компании повысить эффективность работы, сократить затраты и улучшить качество предоставляемых услуг. Эти меры помогут КТЖ сохранить лидерские позиции на рынке железнодорожных перевозок и эффективно реагировать на вызовы современного логистического ландшафта.

#### *Библиографический список*

1. 68 тысяч контейнерных поездов прошли из Китая в Европу через Казахстан за 10 лет. Railway Supply. (дата обращения: 05.09.2024). – URL : <https://www.railway.supply/68-tysyach-kontejnernih-poezdov-proshli-iz-kitaya-v-evropu-cherez-kazahstan-za-10-let/> – Текст : электронный.
2. Транзитом через Казахстан из Китая запустят 200 контейнерных поездов. Kapital.kz. (дата обращения: 06.09.2024). – URL : <https://kapital.kz/economic/123656/tranzitom-cherez-kazakhstan-iz-kitaya-zapustyat-200-konteynerykh-poyezdov.html> – Текст : электронный.
3. Послание Главы государства народу Казахстана от 1 сентября 2023 года. – Текст : непосредственный.
4. Ратобыльская, Д. В. Пути повышения пропускной способности участков железнодорожной сети на основе имитационного моделирования / Д. В. Ратобыльская. – Текст : непосредственный // Математические машины и системы. – 2010. – № 2. – С. 116–121. – ISSN 1028-9763.
5. Ларченко, Е. А. Выбор методологии управления основными бизнес-процессами в железнодорожной организации / Е. А. Ларченко, А. А. Ерёменко, Р. А. Исмиева. – Текст : непосредственный // В сборнике : Образование – наука – производство : материалы V всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Чита, 2021. – С. 35–41.

**С. А. Филиппов, А. С. Соколов**

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

**А. В. Барахоев**

*Забайкальская дирекция по энергообеспечению СП «Трансэнерго» –  
филиала «ОАО» РЖД,  
г. Чита, Россия*

### **ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В ОТНОШЕНИИ ПРИГОРОДНОГО СООБЩЕНИЯ**

*Отвечающая требованиям НТД остановка пригородных поездов представляет собой современное и удобное решение для пассажиров, обеспечивающее комфортные условия ожидания. На данной остановке предусмотрены не только укрытия от неблагоприятных погодных условий, но и интеграция высоких технологий для улучшения пользовательских услуг.*

*Одним из ключевых аспектов является применение отечественных программных продуктов, что создаёт возможность моделирования различных сценариев работы пригородного транспорта и электроэнергетических систем.*

*Ключевые слова: остановка, пригородный поезд, пассажиры, платформа, травматизм, освещение, обогрев, холод, автоматическая, автономная система, навес, безопасность, плохая видимость, обморожение, комфорт, безопасность, клиентоориентированность.*

В зимнее время открытые станции и остановки пригородного транспорта сообщения, находящиеся в городах и сельских поселениях, часто не имеют защитной инфраструктуры и удобных помещений для пассажиров в ожидании прибытия поездов и электричек. Длительное нахождение на платформе или под навесом в холодное время года может привести к обморожению из-за отсутствия должной защиты от низких температур. Движущиеся переохлажденные поезда также создают дополнительный поток холодного воздуха, усугубляя указанную проблему. Кроме того, не все станции оснащены освещением, что делает посадку и перемещение пассажиров по платформе в ночное время опасными. В связи с вышеперечисленными факторами важно уделить внимание созданию необходимых условий для пассажиров на станциях и остановках в зимний сезон.



Какие последствия могут вследствие этого возникнуть – обморожение, плохая видимость платформы и, исходя из этого, большая вероятность получения травм из-за скользкой поверхности, что в дальнейшем может вызывать травмы разной степени. Такие условия могут привести не только к физическим травмам, но и к возникновению психологического стресса, что может сказываться и в дальнейшей жизни. Постоянная угроза получения травмы может вызвать чувство тревоги, что, в свою очередь, снижает их концентрацию и увеличивает вероятность их получения. Внешний вид обычной остановки показан на рис. 1.



*Рис. 1.* Внешний вид обычной остановки пригородных поездов



*Рис. 2.* Модель тёплой остановки пригородных поездов

Внешний вид разрабатываемой тёплой остановки показан на рис. 2.

Для решения указанной проблемы, предлагается построить крытые сооружения остановки с обогревательным оборудованием, а также установить осветительное оборудование на платформах с использованием мачтовых креплений или в соответствии с конструкцией платформы. Это позволит предотвратить опасные травмы среди пассажиров, пользующихся остановкой в течение зимнего и летнего времени. Кроме того, такие оборудованные остановки способствуют к более интенсивному использованию пригородного транспорта даже в периоды, когда имеется возможность выбора личных автомобилей или услуги такси. Это обусловлено тем, что удобство, безопасность и возможность ожидания транспорта в тепле и при хорошем освещении делают поездки на пригородном транспорте более привлекательными и предпочтительными.

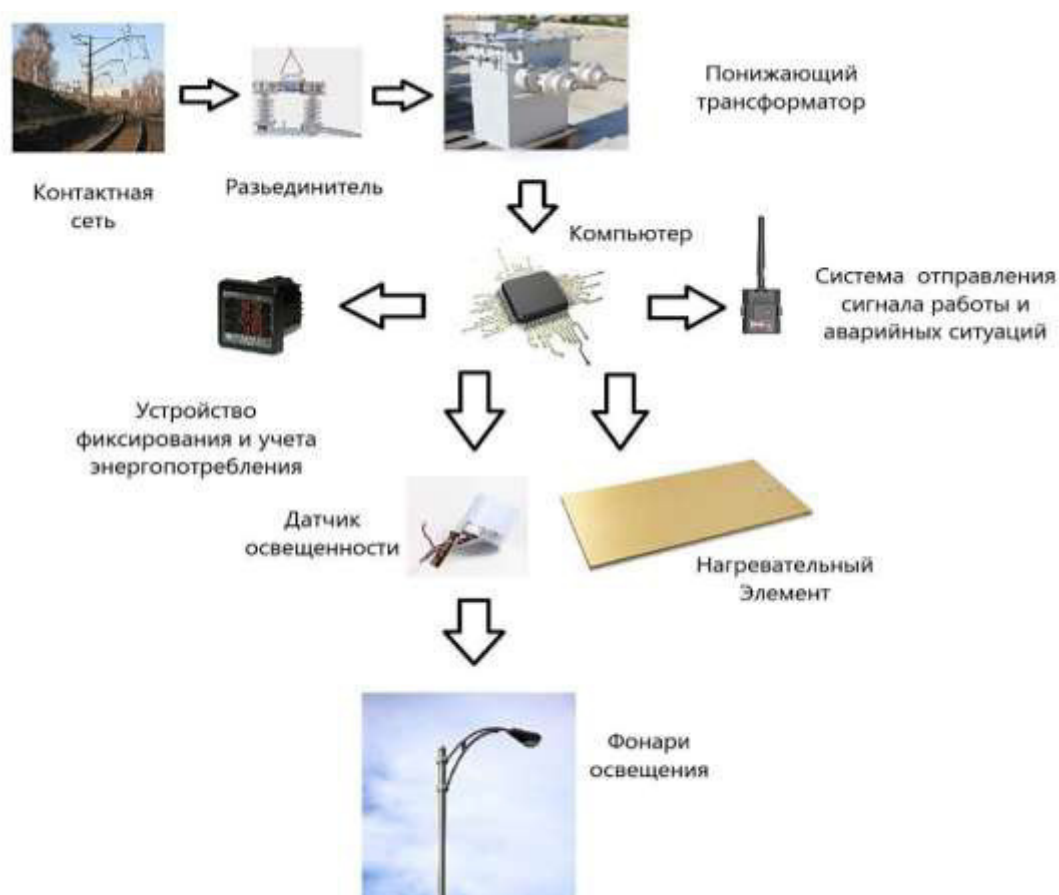


**Рис. 3.** Схема структуры используемых устройств для теплой остановки

Система освещения и обогрева включает в себя контактную сеть в качестве источника или другие источники питания, разъединитель для отключения энергии, трансформатор для питания установки и ПК-

таймер, датчик освещенности, нагревательный элемент в плите. Она также обеспечивает контроль за работоспособностью осветительного устройства и нагревательного элемента, а также детекцию неисправностей с возможностью дистанционного управления оборудованием. Схема взаимно подключаемых устройств показана на рис. 3.

Что позволяет установка теплой остановки:

1. Повышение клиентоориентированности при использовании средств передвижения, таких как электричка и пригородные поезда.
2. Снижение травматизма вызванных обморожением клиентов при использовании таких остановок.
3. Легкость возведения остановки, а также настройка временной работы от отсутствия, присутствия людей.
4. Уменьшение энергопотребления при заданном времени работы.
5. Срок окупаемости составит около 1 года, в зависимости от объема использования услуг и продаж.

Одним из ключевых аспектов повышения клиентоориентированности в сфере общественного транспорта является оптимизация сервиса и улучшение условий перевозок. Важно учитывать мнения и потребности клиентов на всех этапах предоставления услуг. Вот несколько возможных аспектов:

- *Комфорт и удобство*: обновление и создание современных комфортных условий, которые помогут создать положительное впечатление у пассажиров, также современный дизайн, обстановка, приятные цветовые решения и освещение, способные создать уютную атмосферу при неблагоприятных погодных условиях.
- *Информационные технологии*: внедрение цифровых функций для платформ информирования клиентов о расписании, задержках и изменениях маршрутов, обустройство зон ожидания с удобными сиденьями, зарядными станциями и доступом к Wi-Fi, способствует улучшению притока пассажиров.
- *Доступность*: обеспечение доступности пассажирского места, что является важным аспектом, который влияет на качество оказываемых услуг граждан. Это включает в себя создание условий, которые позволяют всем людям, вне зависимости от их физических возможностей, комфортно передвигаться и пользоваться услугами общественных мест.
- *Безопасность*: усиление контроля служб безопасности и установка камер наблюдения для повышения безопасности у пассажиров и непосредственно предотвращение к возникновению вандализма данного сооружения, связанные с повреждением или уничтожению элементов инфраструктуры.

Основными рисками являются опасность травматизма клиентов, пользующихся услугами железнодорожного транспорта. За последние 5 лет (2019–2024 гг.) количество полученных травм, приходящихся на 1000 человек, составляет 30 травмируемых. В экономическом плане потери достигают до 4 миллионов рублей с учетом отказа и потерей доверия оказания услуг клиентам. Статистика была предоставлена сайтом РЖД об обращении клиентов.

Произведем расчеты сметы ожидаемых затрат:

- Микроконтроллеры, проводники и прочие мелкие траты – 100 тыс. руб.
- Моделирование, монтаж, наладка, обслуживание и модернизация оборудования и устройств – 140 тыс. руб.
- Разрешения, согласования и безопасность пользования – 40 тыс. руб.
- Суммарно 280 тыс. руб.

Следовательно, срок окупаемости составит около 1 года, в зависимости от объема пользования услуг и продаж железнодорожным инфраструктурам, а так же возможность продажи дочерним компаниям.

Известно, 280 000 руб. – стоимость одной остановки, а 100 руб. – средняя цена проезда 1-го человека

Итого:

1.  $280\,000 / 100 \text{ руб.} = 2800$  (количество пассажиров в год).
2.  $2800 / 12 \text{ мес.} = 234$  (кол-во пассажиров в месяц).
3.  $234 / 30 = 8$  (кол-во пассажиров в день).

При увеличении и заинтересованности количество клиентов может увеличиться. Пусть за год воспользовались услугой 3600 человек

4.  $3600 * 100 \text{ руб.} = 360\,000 \text{ руб.}$  (общая сумма за год).
5.  $360\,000 \text{ руб.} - 280\,000 \text{ руб.} = 80\,000 \text{ руб.}$  (сумма прибыли от клиентов).

При собственном изготовлении остановок, а так же их продаже дочерним компаниям и другим организациям, пусть одна остановка будет стоить 350 000 руб. За год было продано 6 таких остановок.

6.  $350\,000,00 \text{ руб.} * 6 \text{ остановок} = 2\,100\,000.00 \text{ руб.}$
7.  $280\,000 \text{ руб.} * 6 = 1\,680\,000 \text{ руб.}$  (общая цена ресурсов).
8.  $2\,100\,000 \text{ руб.} - 1\,680\,000 \text{ руб.} = 420\,000$  (сумма прибыли от продаж).
9.  $420\,000 \text{ руб.} + 80\,000 \text{ руб.} = 500\,000 \text{ руб.}$  (общ. сумма прибыли).

Сопровождение технологии перевозочного процесса пригородных поездов с подогревом и освещением остановок представляет собой важный шаг в улучшении качества услуг железнодорожного транспорта

и создании комфортных и безопасных условий для пассажиров. Такие меры не только обеспечивают удобство при ожидании поездов в холодное время года, но и повышают безопасность на станциях. Хорошо освещенные платформы способствуют снижению уровня преступности и повышают общее чувство безопасности у пассажиров.

Следует также отменить экономическую доступность данного транспорта. В Российской Федерации в достаточно большом объеме количества населенных пунктов данный вид сообщения является единственным. Социальная значимость этого сообщения несомненна.

#### *Библиографический список*

1. Требования к пассажирским платформам по обеспечению безопасности граждан, с изменениями на 18 сентября 2019 года. – URL : <https://tiflocentre.ru/documents/trebovanii-k-passazhirskim-platformam-po-obespecheniiu-bezopasnosti-grazhdan.php><https://tiflocentre.ru/documents/trebovanii-k-passazhirskim-platformam-po-obespecheniiu-bezopasnosti-grazhdan.php>. – Текст : электронный.
2. Организация железнодорожных пассажирских перевозок / В. А. Кудрявцев. – 2008–2015 гг. – Текст : непосредственный.
3. Отчёт МСЖД 2023: статистика происшествий на железных дорогах. – URL : <https://zdmira.com/articles/otchet-mszhd-2023-statistika-proisshествij-na-zheleznykh-dorogakh>. – Текст : электронный.
4. Количество травмированных граждан на объектах ОАО «РЖД», 2022 год. – URL : <https://www.rzd.ru/ru/9284/page/3102?id=275483>. – Текст : электронный.
5. Приказ Министерства транспорта РФ от 23 июня 2022 г. № 250 «Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации». – Текст : непосредственный.

**Д. И. Хомич, В. В. Костенко**  
*Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

#### **ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАПУСКА ТУРИСТИЧЕСКИХ ПОЕЗДОВ**

*В статье представлены основные направления развития туристических перевозок железнодорожным транспортом, требования, предъявляемые к подвижному составу при их организации, требования к сти-*



*лизации подвижного состава и внутреннего интерьера, порядок обслуживания и необходимый набор сервисов, предоставляемых пассажирам. Представлен мировой и отечественный опыт в организации железнодорожных туристических перевозок.*

*Ключевые слова: туристический поезд, стилизованный подвижной состав, железнодорожный туризм, маршрут туристического поезда.*

Мировой опыт эксплуатации железных дорог показывает высокий интерес к железнодорожным путешествиям как к отдельному виду туризма. Первые туристические поезда в России появились вместе железнодорожной линией, которая соединила Санкт-Петербург и Царское Село в 1837 году. Принято считать, что первый в мире туристический поезд был запущен в Великобритании 5 июля 1841 года руководителем проекта стал предприниматель Томас Кук, который перевез 570 человек членов общества трезвости. Наибольший интерес к железнодорожным путешествиям появился с запуском поезда компании «Orient Express» в 1883 году, который соединил Париж и Стамбул с высочайшим уровнем комфорта и сервиса, вследствие чего стал символом железнодорожного туризма во всем мире.

Из многолетнего опыта эксплуатации туристических поездов для организованных групп туристов по различным маршрутам в СССР до наших дней сохранился, пожалуй, самый популярный из них на маршруте Москва – Порт-Байкал – Владивосток. Организатором туристических перевозок как на территории России на современном этапе выступила международная компания «Golden Eagle». Первый рейс туристический поезд «Золотой Орёл» совершил 26 апреля 2007 года по маршруту Москва – Порт-Байкал – Владивосток. Брендированные поезда «Золотой Орёл» и «Царское Золото» на этом маршруте состоят из изготовленных для них вагонов, а также восстановленного паровоза серии ПЗ6, имеющего ливрею состава поезда.

Для организации внутренних туристических перевозок в августе 2005 года была основана российская компания «РЖД-ТУР», которая является крупнейшим организатором туристических перевозок на территории России и странах СНГ.

В рамках развития внутреннего и въездного туризма Правительством Российской Федерации распоряжением от 05 мая 2018 года № 872-р утверждена Концепция целевой программы «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019–2025 гг.)». Одним из перевозчиков выступает ОАО «РЖД», в том числе для доставки самостоятельных туристов и организованных групп к наиболее значи-

мым историческим, культурным и природным объектам. Железнодорожный туризм является одним из наиболее перспективных направлений развития отрасли, позволяющим путешествовать по России на большие расстояния. [1, 2]

По отчётным данным ОАО «РЖД» в 2023 году туристическими поездами перевезено 385 тысяч туристов по 45 маршрутам, при этом в 2022 году насчитывалось всего 30 маршрутов. По итогам работы туристических перевозок в 2024 году ожидается исторический рекорд в миллион туристов. В настоящее время наиболее успешными проектами на территории России с учётом регулярности перевозок по календарному графику стали участки исторических железнодорожных линий, природно-ландшафтные панорамные участки железных дорог, а также перевозка туристов к крупным культурным, историческим центрам, паркам и спортивным объектам. Организация туристических перевозок, направленных на повышение привлекательности железнодорожного транспорта будет способствовать увеличению производительности и эффективности использования подвижного состава и росту мобильности населения, что позволит минимизировать вероятность возникновения неудовлетворенности спроса населения в области регулярных железнодорожных перевозок. [3]

На начальном этапе рост железнодорожного туризма во многом держался на энтузиазме отдельных руководителей транспортной отрасли и регионов, каждый проект был по-своему уникален. К настоящему времени на основании полученного опыта последних 10–15 лет назрела необходимость создания обоснованных бизнес-моделей этого направления развития внутренних путешествий, обеспечения его подвижным составом, специальной инфраструктурой и единым планированием на всей сети железных дорог России.

Выбор подвижного состава для организации туристических поездов зависит от ряда разноплановых факторов, таких как:

- протяженность маршрута;
- время нахождения в пути;
- массовость перевозок на данном маршруте;
- возможность обслуживания подвижного состава в пути следования;
- тематика маршрута;
- историческая эпоха создания железных дорог на маршруте.

На рис. 1 представлена классификация туристических поездов по организации их курсирования. На рис. 2 представлена классификация туристических поездов по времени нахождения в пути.

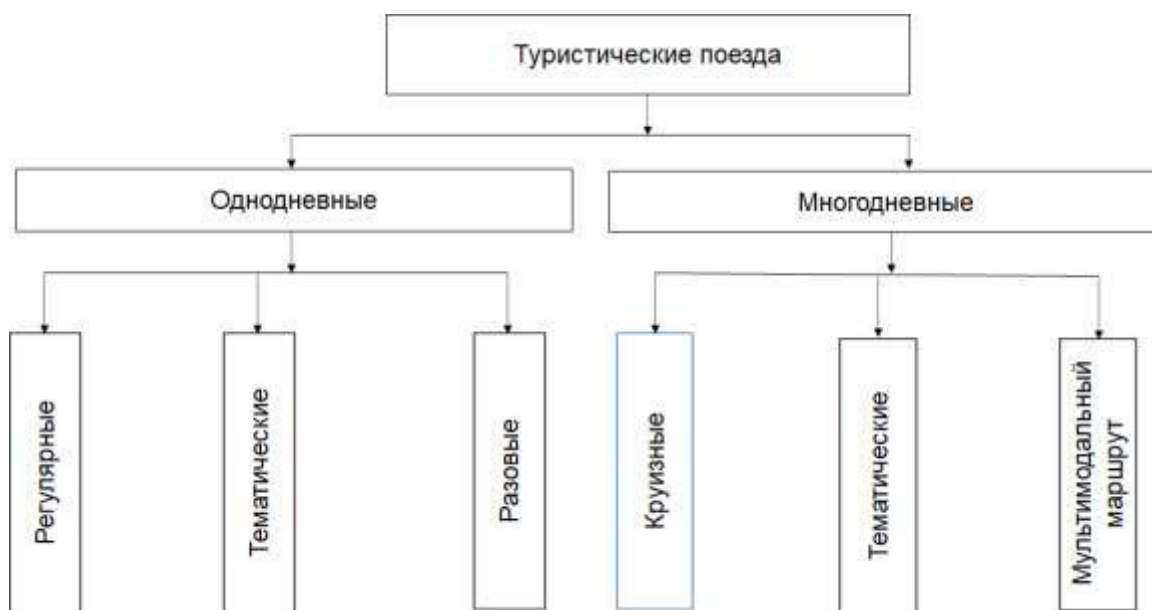


**Рис. 1.** Классификация туристических поездов по организации курсирования



**Рис. 2.** Классификация туристических поездов по времени нахождения в пути

Модель выбора типа подвижного состава для выполнения туристических перевозок формируется на основе многокритериальной оценки [4], которая учитывает количество единиц подвижного состава (имеющиеся ресурсы и их дислокацию), его вместимость, возможность разбивки по классам обслуживания, необходимость наличия вагонов-ресторанов, клубов и т.п. в составе поезда, потребность в исторической стилизации и специальном внутреннем оформлении интерьеров вагонов поезда.

Выбор типа тягового подвижного состава зависит от технологической возможности обслуживания им участков обращения туристического поезда, проведения экипировки, технического обслуживания и ремонта локомотивам соответствующей серии. В следствие быстрого развития этого сегмента пассажирских перевозок в настоящее время остро стоит

вопрос с распределением тягового подвижного состава, пассажирских вагонов, имеющих стилизацию, специализированного моторвагонного подвижного состава между маршрутами курсирования туристических поездов, что требует оперативного перераспределения в течении календарного года с учётом их загрузки на основном участке обращения. Как следствие такая передислокация требует не только выделения отдельных ниток в графике движения поездов, но и отвлечение локомотивов и локомотивных бригад, а также проводников пассажирских вагонов для сопровождения их к новому месту дислокации, что несёт дополнительные расходы на обслуживание туристических перевозок. Одним из открытых вопросов остаётся технология использования всех видов подвижного состава в других видах движения при отсутствии заявок на туристические перевозки. Восстановление или строительство новых технических устройств необходимых для обслуживания исторических локомотивов будет зависеть от массовости перевозок, а также возможности развития маршрутной сети региона.

На участках железных дорог, где имеется высокий внутри региональный пассажиропоток предусмотрено выделение туристических вагонов в регулярных пригородных поездах и пригородных поездах «экспресс» по наиболее востребованным маршрутам Санкт-Петербург – Выборг, Санкт-Петербург – Великий Новгород, Москва – Владимир, Москва – Рязань, Москва – Сергиев Посад, Москва – Тула, а также в тематических пригородных поездах Слюдянка – Порт-Байкал, Бологое – Осташков. Это позволит обеспечить разделение местных пассажиров и туристов при этом обеспечит возможность проведения тематических мероприятий в пути следования поезда.

Стилизация подвижного состава и внутренний интерьер поезда, а также форма проводников вагонов поезда должна соответствовать его тематике и может быть унифицированной для туристических поездов, осуществляющих массовые перевозки к спортивным объектам, культурным центрам.

Для организации туристических перевозок во многих странах мира принят единый стандарт обслуживания пассажиров на различных маршрутах, стилизации подвижного состава, оформление внутренних интерьеров, пассажирской инфраструктуры, что позволяет сделать узнаваемым тот или иной туристический маршрут.

На сети железных дорог России в настоящее время отсутствует единый стандарт по обслуживанию туристических поездов различных категорий. Утверждённый порядок организации туристических перевозок в холдинге «РЖД» распоряжением 2105/р от 18.08.2023 [5] лишь

от части регламентирует порядок обслуживания пассажиров в пути следования и описывает необходимый набор сервисов и услуг для пассажиров. На сегодняшний день можно считать единственным узнаваемым маршрутом, который сочетает в себе единый стандарт пассажирской инфраструктуры, подвижного состава, интерьера вагонов, формы поездной бригады и типа подвижного состава участок Сортавала – Горный парк Рускеала (Республика Карелия).

В настоящее время может быть предложен унифицированный типовый проект по развитию пассажирских устройств, который включает в себя наличие низких пассажирских платформ, выполненных из деревянного настила, указателей в историческом стиле с акцентом на тематику маршрута. Первые такие пассажирские обустройства появились в местах остановки туристических поездов на Кругобайкальской железной дороге, на станциях Сортавала и Маткаселькя в рамках запуска туристического поезда «Рускеальский экспресс». Дальнейшее развитие и широкое применение такие пассажирские обустройства нашли и в других местах: на станциях Шувакиш, Шуя, Куженкино, Чудово, Хелюля и многих других.

Одним из ключевых вопросов при организации туристических перевозок является разработка расписания туристического поезда. Важным элементом является не только удобное время отправления и прибытия поезда, но и возможность организовать мультимодальную перевозку туристов с использованием различных видов транспорта к крупным культурным центрам или объектам с учётом ежегодно растущего спроса на такие перевозки. Так по результатам мультимодальных перевозок в 2024 году спрос возрос на 37 % и составил 9800 пассажиров по трем наиболее востребованным маршрутам в границах Октябрьской железной дороги, что требует более детальной проработки расписаний.

Наиболее значимые технические и технологические проблемы организации железнодорожных туристических перевозок требуют детальной проработки и научного сопровождения. Решение этих вопросов позволит обеспечить оптимальное использование подвижного состава с учётом особенностей его обслуживания при различных вариантах работы.

#### *Библиографический список*

1. Коваленко, Н. А. Перспективные направления развития железнодорожного туризма / Н. А. Коваленко, Л. С. Шорохова. – Текст : непосредственный // Наука и технологии железных дорог. – 2022. – Т. 6, № 3 (23). – С. 61–68.



2. Peira, G. Railway and tourism: A systematic literature review / Peira G., Lo Giudice A., Miraglia S. – Текст : непосредственный // Tourism and Hospitality. – 2022. – Vol. 3, iss. 1. – Pp. 69–79. – DOI: 10.3390/tourhosp3010005.

3. Коваленко, Н. А. Особенности организации туристических маршрутов как одного из методов повышения эффективности использования подвижного состава / Н. А. Коваленко, Л. С. Шорохова. – Текст : непосредственный // Научный Вестник МГТУ ГА. – Том 26, № 03. – 2023.

4. Колпачёва, Д. А. Обоснование выбора подвижного состава для выполнения пассажирских перевозок на основе многокритериальной оценки качества / Д. А. Колпачёва; рук. Т. Г. Нечаева, Т. А. Бородич. – Текст : непосредственный // Информационные технологии, энергетика и экономика (экономика и менеджмент, научные исследования в области физической культуры, спорта, общественных наук и лингвистики) : сборник трудов XVI международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Смоленск, 25-26 апреля 2019 г. В 3-х томах. – 2019. – Том 3. – С. 90–93.

5. Порядок организации туристских перевозок в холдинге «РЖД» [утверждён распоряжением ОАО «РЖД» от 18.08.2023 № 2105/р]. – Текст : непосредственный.

**А. В. Хомов, С. О. Литвинцев**

*АО «Научно-исследовательский институт  
железнодорожного транспорта», АО «ВНИИЖТ»,  
г. Москва, Россия*

**Н. А. Хомов**

*Транспортная группа ФЕЕКО (FESCO ПАО «ДВМП»),  
г. Москва, Россия*

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ, ТРЕБУЮЩИХ СОБЛЮДЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА, В СРЕДНЕТОННАЖНЫХ МОДУЛЯХ**

*В статье исследуется динамика контейнерных перевозок с учётом провозной способности железных дорог Восточного полигона. В работе дан анализ отправления контейнерных поездов с ключевых станций их формирования на сети дорог РФ в 2023 году. Авторы статьи описывают целесообразность совместного использования как контейнеров под тарно-штучные грузы, так и рефрижераторных для перевозки ско-*

ропортящихся грузов. В статье уделяется внимание основным аспектам применения среднетоннажных рефрижераторных контейнеров. Статья обобщает практический опыт использования среднетоннажных рефрижераторных контейнеров на железных дорогах Японии.

*Ключевые слова:* рефрижераторный контейнер, среднетоннажный модуль, контейнерный поезд, провозная способность, температурный режим.

В настоящее время широкое распространение получила массовая контейнеризация в грузоперевозках, актуальность которой обусловлена эффективностью транспортировки товаров в евразийском транзите. С развитием новых и существующих торгово-экономических связей обеспечение стабильного и своевременного товарного снабжения в Российской Федерации зависит от оптимизации логистических процессов, которой способствуют такие факторы, как: использование стандартизированного и унифицированного подвижного состава, снижение времени на погрузочно-разгрузочные работы, возможность организации интермодальных перевозок, ускорение и маршрутизация перевозок грузов в контейнерах – что, в свою очередь, является основными преимуществами контейнеризации. Поэтому контейнерные перевозки на данный момент приобретают все большее значение. Динамика контейнерных перевозок по сети ОАО «РЖД» представлена на рис. 1.

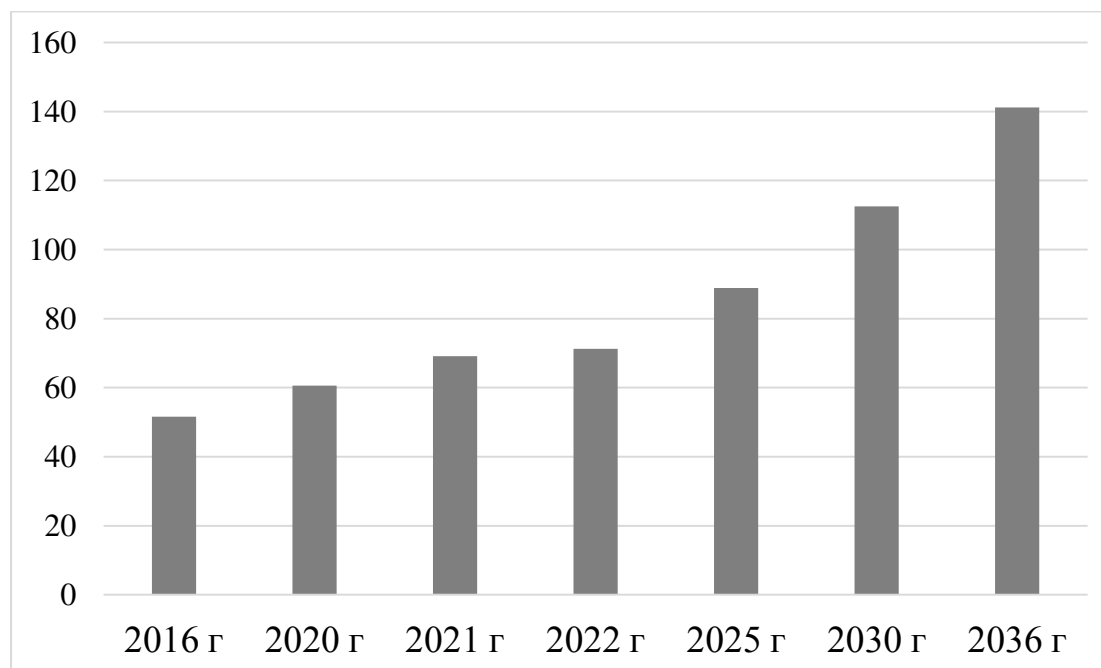


**Рис. 1.** Динамика контейнерных перевозок по сети ОАО «РЖД», млн т

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к сокращению объемов перевозок грузов в крытых вагонах, о чем свидетельствует стремительный спад перевезенного тоннажа с 52,7 млн т грузов в 2010 году до 36,9 млн т грузов в 2022 г. По экспертной оценке, в перспективе до 2036 г. возможен отток перевозимых грузов из крытого подвижного состава и перевода его в контейнеры общим объемом до 42,6 млн т, что обуславливается наибольшей привлекательностью контейнерных перевозок с точки зрения мультимодальности и тарификации.

Тренд на повышение перевозок грузов в контейнерах, заданный еще в 2017 г., показывал бурный рост вплоть до 2021 г. (внутри России данные перевозки возросли более, чем в 1,7 раза: с 43,9 млн т в 2017 г. до 73,2 млн т в 2021 г.), однако в 2022 г. из-за сложной геополитической обстановки в мире и давления санкций, в том числе на логистику грузов, динамика контейнеризации приняла отрицательное значение. Так же введения санкций ведущими западными странами в отношении российского рынка, произошло перераспределение логистики грузов с северо-западных портов на порты Дальнего Востока, что привело к поиску новых логистических решений. Сложившиеся обстоятельства способствовали увеличению нагрузки на железнодорожную инфраструктуру России: экспортные перевозки в 2022 г. в сравнении с 2021 г. увеличились в среднем на 15 %, а импортные – на 34 %.

В 2023 г. объемы перевозок грузов в контейнерах по железным дорогам нашей страны продолжили тренд на увеличение. Во всех видах сообщения было перевезено более 7,44 млн груженых и порожних контейнеров (ДФЭ), что на 14,1 % больше аналогичного периода прошлого года.

По причинам геополитической ситуации в мире в ближайшее время наиболее востребованными будут маршруты, проходящие через сеть железных дорог Восточного полигона, что на сегодняшний день является ключевой повесткой для большинства транспортных компаний. Тот факт, что Дальний Восток имеет прямые выходы к растущим рынкам стран Азиатско-Тихоокеанского региона, экономика которых позволяет инвестировать в развитие прямого экспорта и транзита Российской продукции, усугубляет ситуацию загруженности железнодорожной инфраструктуры России.

Изменение и переориентация транспортных потоков затронула не только грузы в контейнерах, но и практически всю номенклатуру, что привело к ограничениям железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона. На рис. 2 представлена диаграмма провозной способности полигона в разрезе нескольких лет (количество перевезенных тонн груза через полигон).

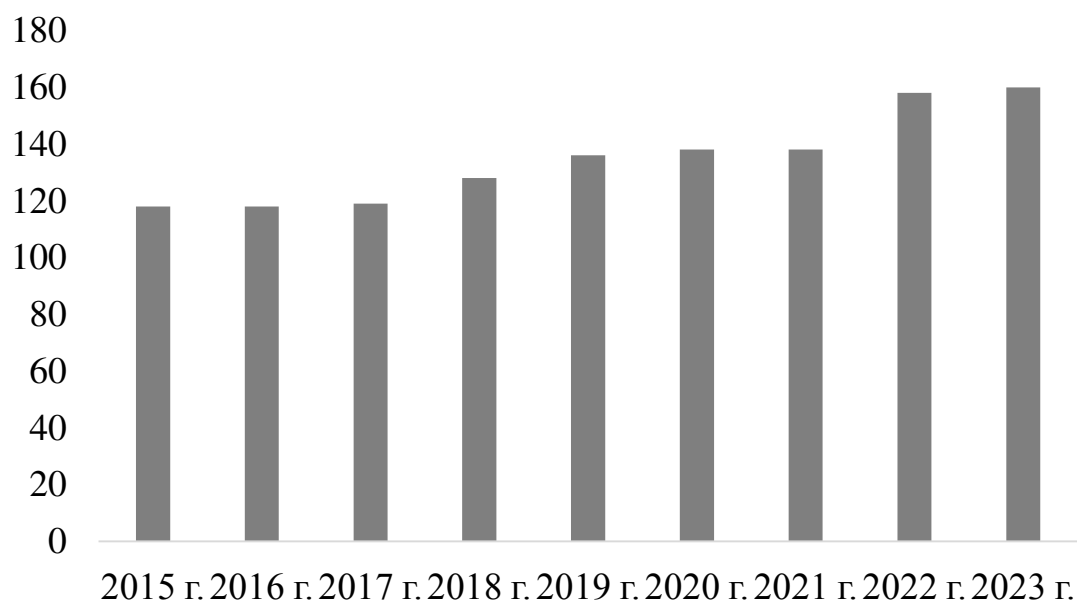


**Рис. 2.** Диаграмма провозной способности Восточного полигона, млн т

Однако пропускные возможности сети железных дорог не безграничны и уже сейчас достигают пикового потенциала как в перевозке грузов, так и пассажиров.

В IV квартале 2023 г. ОАО «РЖД» официально уведомило грузо-владельцев и операторов подвижного состава о том, что с 10 декабря 2023 г. в графике движения контейнерных поездов, формируемых на станциях Восточного полигона, равно как и формируемых в их адрес, устанавливается минимальная длина железнодорожного состава 71 условный вагон. Данное решение позволило увеличить объемы ввоза импортных контейнеров, и уже в феврале показатели достигли 3,5 тыс. ДФЭ в сутки, а также обновлен рекорд по вывозу контейнеров в полувагонах – 1 680 ДФЭ за сутки. Тем не менее, увеличение длины составов поездов негативно сказалось на логистику в целом, поскольку увеличилось время накопления контейнерных поездов на терминалах, а следовательно, возросло общее время простоя и непроизводительное занятие инфраструктуры. Особенно остро встал вопрос о перевозках в контейнерных поездах скоропортящихся грузов, поскольку уставный срок доставки сокращался на время простоя и сопровождался потерей качества продукции и увеличением ее естественной убыли. Были проведены исследования на предмет увеличения времени простоя вследствие накопления удлиненного состава (см. Таблицу).

Таблица

**Анализ отправления контейнерных поездов с ключевых станций  
их формирования на сети дорог РФ в 2023 г.**

| Ст. отпр.          | Станция назначения            | 01.01.23 – 30.11.23     |                                                    |                                           | 01.12.23 – 31.12.23     |                                                    |                                           |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                    |                               | Длина поезда, усл. ваг. | Кол-во отправленных поездов (и физических вагонов) | Среднее время накоп. на один состав, сут. | Длина поезда, усл. ваг. | Кол-во отправленных поездов (и физических вагонов) | Среднее время накоп. на один состав, сут. |
| Артем-Приморский 1 | Автово                        | 57-71                   | 1x31                                               | 6,2                                       | 71                      | 0                                                  | 9,6                                       |
|                    | Белый Раст                    | 57-71                   | 14x124                                             |                                           | 71                      | 2x38                                               |                                           |
|                    | Ступино                       | 57-71                   | 2x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Селятино                      | 57-71                   | 1x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Электроугли                   | 57-71                   | 5x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Станции перегрузки (полуваг.) | 57-71                   | 88x57                                              |                                           | 71                      | 3x71                                               |                                           |
| Гродеково          | Белый Раст                    | 57-71                   | 5x31                                               | 9,7                                       | 71                      | 0                                                  | 10,5                                      |
|                    | Жодино                        | 57-71                   | 1x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Купавна                       | 57-71                   | 1x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Селятино                      | 57-71                   | 2x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Тихоново                      | 57-71                   | 3x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Шушары                        | 57-71                   | 1x36                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Электроугли                   | 57-71                   | 7x31                                               |                                           | 71                      | 1x38                                               |                                           |
|                    | Станции перегрузки (полуваг.) | 57-71                   | 6x55                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
| Сыктывкар          | Алтынколь                     | 57-71                   | 3x31                                               | 4,1                                       | 71                      | 0                                                  | 7,8                                       |
|                    | Гродеково                     | 57-71                   | 1x38                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Достык                        | 57-71                   | 3x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Забайкальск                   | 57-71                   | 20x38                                              |                                           | 71                      | 1x38                                               |                                           |
|                    |                               | 57-71                   | 1x39                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    |                               | 57-71                   | 1x42                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                    | Наушки                        | 57-71                   | 8x31                                               |                                           | 71                      | 1x31                                               |                                           |



Окончание Таблицы

| Ст. отпр.      | Станция назначения | 01.01.23 – 30.11.23     |                                                    |                                           | 01.12.23 – 31.12.23     |                                                    |                                           |
|----------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                |                    | Длина поезда, усл. ваг. | Кол-во отправленных поездов (и физических вагонов) | Среднее время накоп. на один состав, сут. | Длина поезда, усл. ваг. | Кол-во отправленных поездов (и физических вагонов) | Среднее время накоп. на один состав, сут. |
| Братск         | Гродеково          | 57-71                   | 1x31                                               | 8,1                                       | 71                      | 0                                                  | 8,8                                       |
|                | Забайкальск        | 57-71                   | 5x31                                               |                                           | 71                      | 1x38                                               |                                           |
|                |                    | 57-71                   | 1x32                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                |                    | 57-71                   | 1x38                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                | Наушки             | 57-71                   | 4x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                | Находка-Восточная  | 57-71                   | 1x32                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
| Томск-Грузовой | Гродеково          | 57-71                   | 2x31                                               | 6,4                                       | 71                      | 0                                                  | 8,5                                       |
|                | Жодио              | 57-71                   | 1x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                | Забайкальск        | 57-71                   | 3x38                                               |                                           | 71                      | 1x38                                               |                                           |
|                | Наушки             | 57-71                   | 4x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
| Базаиха        | Гродеково          | 57-71                   | 1x31                                               | 7,1                                       | 71                      | 0                                                  | 10,9                                      |
|                |                    | 57-71                   | 1x38                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                | Достык             | 57-71                   | 3x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                | Забайкальск        | 57-71                   | 7x38                                               |                                           | 71                      | 1x32                                               |                                           |
|                |                    | 57-71                   | 1x40                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |
|                | Наушки             | 57-71                   | 7x31                                               |                                           | 71                      | 0                                                  |                                           |

Из приведенной таблицы можно отметить, что в среднем простой вагонов под накоплением увеличился на 4 суток, что в дальнейшем обуславливает уменьшение уставного срока доставки скоропортящихся грузов, основным из которых по Восточному полигону является рыбная продукция.

Скоропортящиеся грузы подлежат погрузке в специализированный подвижной состав, в данном случае – рефрижераторные контейнеры. В случае накопления контейнерных составов целесообразно совместное использование как контейнеров под тарно-штучные грузы, так и рефрижераторных для перевозки скоропортящихся грузов. Следует отметить основные аспекты применения среднетоннажных рефрижераторных контейнеров:

1. Оптимизация температурного режима. Рефрижераторные контейнеры способны поддерживать необходимую температуру на протяжении всего пути. Это критично для сохранности таких товаров, как мясо, рыба, молочные продукты и свежие овощи и фрукты, которые могут быстро терять свои свойства при неправильном хранении.

2. Компактность и удобство. Среднетоннажные контейнеры имеют более компактные размеры по сравнению с стандартными 20-футовыми или 40-футовыми, что позволяет использовать их там, где пространство ограничено, например, на складах или в вагонах поездов. Это облегчает процесс загрузки и выгрузки, а также позволяет более гибко управлять подачей и отгрузкой товаров.

3. Снижение рисков порчи груза. В условиях накопления составов, когда груз может находиться в ожидании транспортировки значительное время, рефрижераторные контейнеры обеспечивают защиту от порчи. Это минимизирует финансовые потери и сохраняет товар в пригодном для продажи состоянии.

4. Контроль за микроклиматом. Многие современные рефрижераторные контейнеры оснащены системами мониторинга, позволяющими отслеживать температуру и влажность внутри контейнера в режиме реального времени. Это дает возможность находить и устранять потенциальные проблемы до того, как они приведут к ухудшению качества груза.

5. Устойчивость к внешним условиям. Рефрижераторные контейнеры защищают грузы от неблагоприятных погодных условий, тем самым обеспечивая стабильное хранение независимо от температуры наружного воздуха. Это особенно важно в условиях сурового климата Восточной Сибири и Дальнего Востока.

6. Экономическая эффективность. Использование 12-футовых рефрижераторных контейнеров может снизить затраты на логистику за счет уменьшения потерь от порчи товара и более эффективного использования пространства на складе и в транспорте.

7. Совместимость с различными видами транспорта. Рефрижераторные контейнеры могут использоваться не только для морских, но и для железнодорожных и автомобильных перевозок. Это создаёт гибкие решения для организации цепочки поставок и позволяет легко интегрировать контейнеры в существующие логистические схемы.

При изучении мирового опыта перевозок грузов, требующих соблюдения температурного режима в малотоннажных интермодальных единицах, следует отметить опыт железных дорог Японии. Японская компания «JOT Group» разработала ряд контейнеров, отвечающих самым разным требованиям. [1]

В 12-футовых рефрижераторных контейнерах используются изоляционные материалы, обеспечивающие устойчивость к холоду и жаре, что делает их идеальным средством для перевозки продуктов и других товаров, требующих контроля температуры (рис. 3).



**Рис. 3.** 12-футовый рефрижераторный контейнер

Контейнеры имеют две двери на длинной стороне, пригодные для погрузки и разгрузки грузов с помощью вилочного погрузчика.

В усиленных 12-футовых рефрижераторных контейнерах используется вакуумная изоляционная панель, обеспечивающая более высокую теплоизоляцию, чем в рефрижераторных контейнерах, что делает их идеальным средством для перевозки грузов, требующих еще более строгого контроля температуры (рис. 4).



**Рис. 4.** Усиленный 12-футовый рефрижераторный контейнер

Главным отличием усиленных 12-футовых рефрижераторных контейнеров от обычных рефрижераторных контейнеров является двухслойные стены и двери.

В Российской Федерации рыболовство имеет важное значение для продовольствия, питания и занятости тысячи людей, а рыбная логистика имеет решающее значение для обеспечения продовольственной безопасности. В 2023 году вылов морепродуктов превысил 5,3 миллиона тонн [2]. На Дальнем Востоке было поймано более 75 % от общего российского вылова. Основным потребителем морепродуктов является центральный регион России, куда транспортируется около миллиона тонн морепродуктов. Поэтому вопрос сохранения качества продукции на всем протяжении холодовой цепи является актуальным. «Сегодня стоит приоритетная задача изменить сложившуюся ситуацию и обеспечить все условия по созданию необходимых условий по транспортировке замороженных и скоропортящихся грузов в центральные и южные регионы страны». [3]

При перевозке грузов, требующих соблюдения температурного режима следует учитывать четыре параметра: температуру, влажность, вентиляцию и дренажный трубопровод для слива лишней воды. Все стандартные рефрижераторные контейнеры рассчитаны на поддержание температуры от +25°C до -25°C для охлажденных и замороженных грузов. Определенный процент мирового рефрижераторного флота также способен поддерживать температуру до -35°C и даже ниже. Специальные контейнеры (супермороозильники) способны поддерживать температуру до -70°C. Рефрижераторное оборудование не работает само по себе, его необходимо подключить к источнику электроэнергии. Этот источник может находиться на складе, терминале, на борту судна или на генераторной установке. Основными элементами рефрижераторного контейнера являются компрессор, конденсатор, ресивер, фильтр осушителя, испаритель и два его вентилятора (рис. 5). Могут устанавливаться тэны, если рефконтейнер работает в греющем режиме.

Как уже отмечалось, широкое применение среднетоннажные рефрижераторные контейнеры получили при перевозках на железных дорогах Японии. В связи с небольшим сроком доставки, контейнеры эксплуатируются без холодильного оборудования. Если срок доставки значительный, то для перевозки грузов, требующих соблюдения температурного режима необходимо установка холодильного оборудования (рис. 6).

«Маркетинговые исследования, проведенные сотрудниками АО «ВНИИЖТ» в 2020–2021 гг., доказали потребность среди грузоотправителей в среднетоннажной возвратной таре» [4]. В 2023 году были созданы опытные образцы пяти и десяти тонные среднетоннажные модули, которые успешно прошли испытания в реальных условиях грузовой работы. Тестирование доказало жизнеспособность среднетонаж-

ной тары при перевозке на специальном контейнере-адаптере, вмещающем два 10-ти или четыре 5-ти тонных модуля.

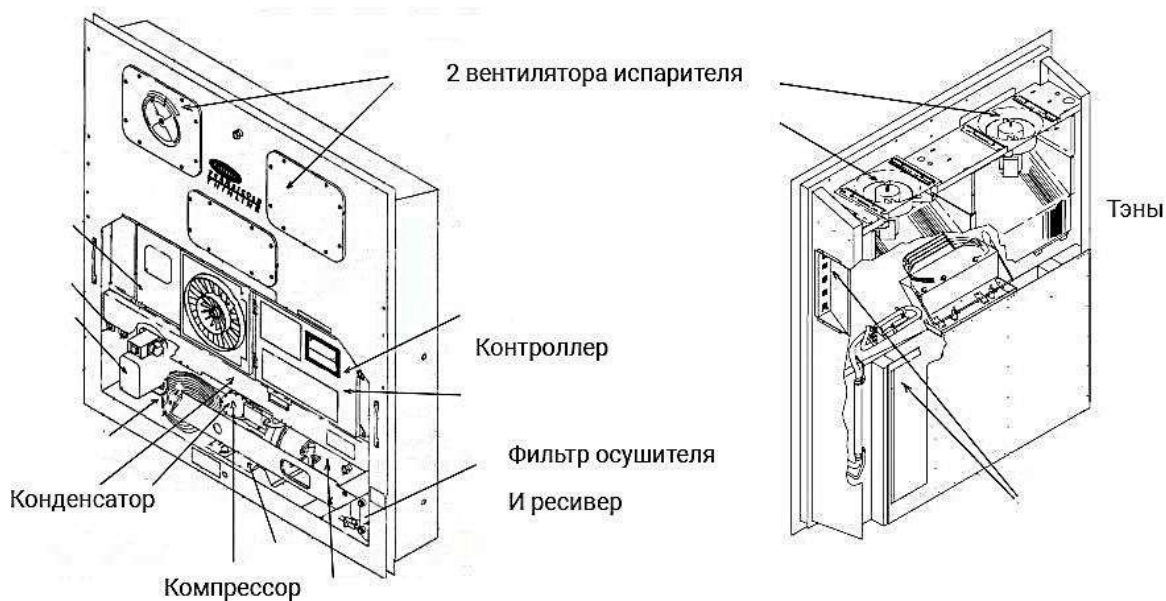


**Рис. 5.** Основные элементы рефрижераторного контейнера



**Рис. 6.** Среднетоннажные контейнера с холодильным оборудованием



Следующим этапом может быть создание рефрижераторного среднетоннажного модуля для перевозки грузов, требующих соблюдения температурного режима и отдельного среднетоннажного модуля с дизельным генератором. Установка дизельного генератора в отдельном закрытом модуле вызвано, в первую очередь тем, что в последнее время участились случаи вандализма и хищения оборудования с рефконтейнеров во время транспортировки железнодорожным транспортом. Уже имеется опыт питания рефрижераторных сцепов от дизель-генераторного контейнера в контейнерных поездах «Полярной звезды» и Sinotrans на маршруте Циндао – Селятино, перевозящих в Россию замороженное мясо курицы [5].

Подобный дизель-генераторный контейнер можно создать на базе десятитонного среднетоннажного модуля [6]. Дизель-генераторный модуль может питать энергией несколько рефрижераторных среднетоннажных модулей, находящихся в составе обычного контейнерного поезда. В десятитонном рефрижераторном модуле можно разместить необходимое количество дизельного топлива на всю перевозку, так как «дальность таких перевозок в 80 % случаев превышает 6500 км.» [7]. Как известно, при транспортировке морепродуктов решающее значение имеет температура. Прежде чем загружать рыбу в среднетоннажные рефрижераторные модули, ее необходимо заморозить до температуры от минус 20 до минус 25 градусов Цельсия.

Производство среднетоннажных рефрижераторных модулей, во-первых, может коренным образом изменить рыбную логистику в Российской Федерации. В частности, на последней мили. Не всем предприятиям розничной торговли требуются большие объемы морепродуктов для ее реализации и не все магазины располагают необходимыми площадями для хранения крупнотоннажных контейнеров. Среднетоннажный рефрижераторный модуль, подключенный к электросети магазина, позволит хранить морепродукты без дополнительного перегруза и в непосредственной близости от прилавка. Во-вторых, выпуск новых среднетоннажных рефрижераторных модулей в полной мере соответствует посылу «Председателя Совета Федерации Валентины Матвиенко на встрече руководства палаты регионов с председателем Кабмина Михаилом Мишустинным и членами правительства в том, что России необходимо нарастить собственный выпуск рефрижераторов для перевозки рыбы, чтобы россияне в полном объеме были обеспечены качественной рыбной продукцией» [8].

Тем более, что «в России общий объем перевозок рыбопродукции по железной дороге по всем видам сообщений по итогам 2023 года пре-

высил 1 миллион тонн, что на 13 % больше показателя 2022 года» [9]. Перевозки морепродуктов в среднетоннажных рефрижераторных модулях могут быть востребованы не только на внутреннем рынке, но и в экспортно-импортных перевозках. В настоящее время существуют сервисы по доставке морепродуктов с Дальнего Востока в Китай. С сентября 2020 года транспортная группа FESCO (базовая компания – ПАО «Дальневосточное морское пароходство») организовала регулярные отправки замороженных морепродуктов железнодорожным транспортом из Владивостока в Хунчунь. [10]

Применение среднетоннажных рефрижераторных модулей на Восточном полигоне России представляет собой эффективное решение для обеспечения сохранности и качества перевозимой продукции и может стать ключевым фактором для успешной и эффективной транспортировки скоропортящихся товаров. Это не только обеспечивает сохранность продукции, но и способствует оптимизации логистических процессов, что в конечном итоге влияет на общую производительность и конкурентоспособность предприятий. Использование таких модулей в условиях накопления составов – это надежный способ поддержки качества грузов и минимизации рисков в логистической цепочке.

#### *Библиографический список*

1. Hikyaku JR Container Express. – URL : [https://www.sagawa-exp.co.jp.translate.goog/english/service/jr-container/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www.sagawa-exp.co.jp.translate.goog/english/service/jr-container/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc) (дата обращения: 20.08.2024). – Текст : электронный.
2. Объём добычи рыбы и морепродуктов в России в 2023 году – 5,3 млн тонн. – URL : <https://agromics.ru/novosti/dobycha-ryby/?ysclid=m00qbwlk32181103502> (дата обращения: 20.08.2024). – Текст : электронный.
3. Хомов, А. В. Предпосылки создания инфраструктуры холодовой цепи поставок для наземно-водных интермодальных перевозок / А. В. Хомов, Д. В. Дрейбанд. – Текст : непосредственный // Транспорт. Горизонты развития : труды 3-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 14–16 июня 2023 года. – Нижний Новгород : Волжский государственный университет водного транспорта, 2023. – С. 100.
4. Перспективы использования новых интермодальных транспортных грузовых единиц / А. В. Хомов, К. И. Шведин, Н. А. Хомова, Н. И. Камшилин – Текст : непосредственный // Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт : сборник материалов научно-практической конфе-

ренции АО «ВНИИЖТ», Щербинка, 26–27 августа 2021 года. – Щербинка : АО «ВНИИЖТ», 2021. – С. 200–208.

5. «Полярная звезда» и Sinotrans впервые отправили из Китая рефсцеп с питанием от дизель-генераторного контейнера. – URL : <https://www.infranews.ru/novosti/64456-polyarnaya-zvezda-i-sinotrans-vpervye-otpravili-iz-kitaya-refstsep-s-pitaniem-ot-dizel-generatornogo-konteynera/> (дата обращения: 20.08.2024). – Текст : электронный.

6. Патент на полезную модель № 226591 U1 Российская Федерация, МПК В65D 88/12. Десятитонный среднетоннажный модуль : № 2024108589 : заявл. 01.04.2024 : опубл. 11.06.2024 / И. О. Лобыцин, М. И. Мехедов, К. И. Шведин, С. О. Литвинцев ; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – Текст : непосредственный

7. Литвинцев, С. О. Развитие контейнерных перевозок в период экономической дезадаптации / С. О. Литвинцев, И. Н. Боднар, Н. М. Сорокина. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы железнодорожной науки глазами молодых исследователей : сборник материалов круглого стола, посвященного Дню железнодорожника, Москва, 07 августа 2022 года. – Москва : Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, 2022. – С. 69–81.

8. К вопросу о ситуации с рефконтейнерами для перевозки рыбы <https://kriofrost.academy/lenta/novosti/k-voprosu-o-situatsii-s-refkonteynerami-dlya-perevozki-ryby/?ysclid=lzv986djy3847044985>. – Текст : электронный.

9. Перевозки рыбы в РФ по железной дороге в 2023 году превысили 1 млн тонн – ассоциация. – URL : <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=214834&ysclid=lzv8kdsfr643796294> (дата обращения: 20.08.2024). – Текст : электронный.

10. FESCO запустила контейнерный сервис для доставки рыбы и морепродуктов с Дальнего Востока в Китай. – URL : <https://www.interfax-russia.ru/far-east/news/fesco-zapustila-konteynernyy-servis-dlya-dostavki-ryby-i-moreproduktov-s-dalnego-vostoka-v-kitay> (дата обращения: 20.08.2024). – Текст : электронный.

**Е. Ю. Царегородцева, А. В. Булгакова**  
*Иркутский государственный университет путей сообщений,  
г. Иркутск, Россия*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛОГИСТИКЕ**

*На сегодня современные технологии в логистической системе требуют новых методов развития и внедрения. Следует понимать, что цифровые технологии являются неотъемлемой методикой развития логистической среды, где открываются новые направления, которые состоят в росте бизнес-процессов, с предложением наиболее широкого спектра по логистическим услугам. Нынешняя тенденция развития логистики привела к разработке новых подходов в перевозочном процессе, поскольку логистика относится к одним из ключевых критериев успешного и потенциального роста экономической системы.*

*В рассматриваемой статье исследуются современные технологии – как неотъемлемое направление инноваций на транспортном рынке. В таком случае целью статьи является рассмотрение современных технологий в логистической системе. Вместе следует изучить следующие задачи: 1. Рассмотреть проблемы развития логистической системы в транспортном бизнесе. 2. Провести анализ инвестиционных вложений в новые технологии в логистике 3. Предложить новые направления современных технологий в логистическом процессе.*

*Ключевые слова: новые подходы, технологии, транспорт, логистика, инновации.*

Актуальность исследования современных направлений в логистическом бизнесе обусловлены, в первую очередь спросом на данный вид услуг. За последнее время в логистической системе внедряется цифровизация, как новые технологии. При помощи цифровизации в логистике используются новые варианты для ускорения, изменения, перестройки бизнес работы.

Для разрешения проблематики по внедрению новых направлений в современной логистике следует ориентироваться на импортзамещение, поскольку санкции со стороны западных стран вызывают трудности в логистическом процессе. В решении всего этого внедрить новую концепцию в виде технологий для бизнеса в транспортной среде, как инновации в логистической цепи, которая является главным рычагом экономической эффективности.

В свою очередь, использование инновационных технологий логистической цепи очень актуально для всего транспортного процесса. Тем самым, технологии являются фундаментальной основой для успешного развития всей логистики.

Как указывалось ранее, санкции со стороны запада отрицательно повлияли на отечественные грузопотоки. Поэтому мы сосредоточимся на их проблемах и прогнозах для будущего на рис. 1. Мы видим, что транспортно-логистическая отрасль проходит через период трансформации, сопровождаемый внедрением новых технологий на рынке. При этом за прошлый год значительное влияние на логистическую отрасль оказали внешние факторы.

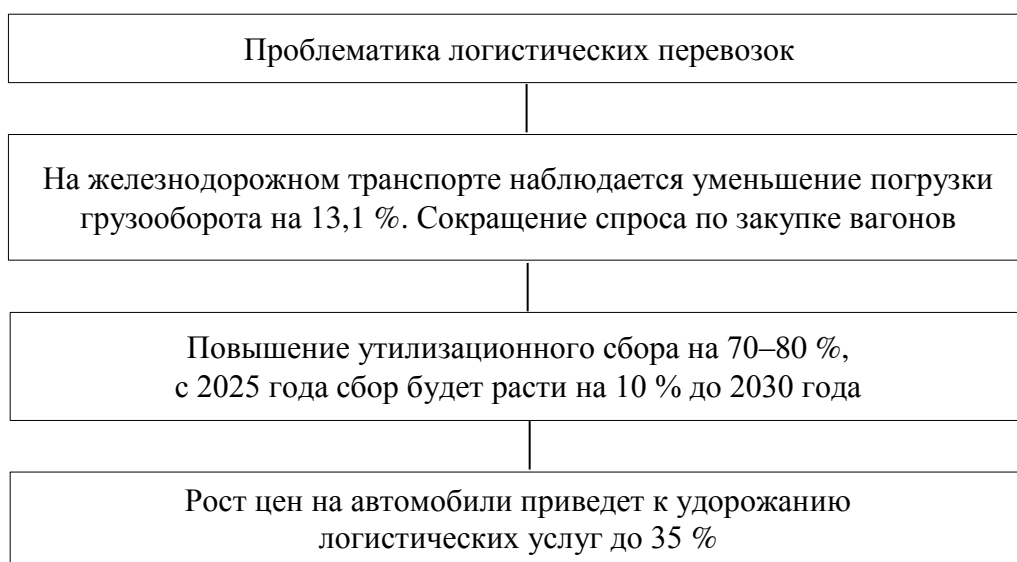


**Рис. 1.** Проблематика логистической системы в 2024 г. [1]

Указанные проблемы указывают на то, что логистика претерпевает изменения, в первую очередь в увеличении стоимости услуг. Важно понимать, что развитие логистики играет ключевую роль в формировании экономического потенциала страны. В условиях изменений на мировой арене, эффективность и грамотное взаимодействие всех ключевых сегментов логистической системы становятся критически важными для развития новой экономики, к которой стремится государство.

Санкции и политика западных стран отрицательно сказались на развитии международной логистики и финансовом плане государственной структуры. Ограничения в грузопотоках привели к тому, что грузовладельцы перестали напрямую доставлять грузы в Россию.



Технологические изменения в логистической системе явно демонстрируют, что отрасль постоянно развивается, особенно после военных конфликтов. Новые направления влияют на управление логистическими цепями и требуют адаптации к новым условиям (см. рис. 2).

Из представленного рисунка прослеживается, что с переходом на цифровизацию появились технологии с изменениями в поведении потребителей логистики. При этом прослеживается недостаток квалифицированного персонала в работе с новыми системами. При этом поменялся торговый процесс во многих странах, особенно с Европой, где основной логистический маршрут сместился на Восточные страны.

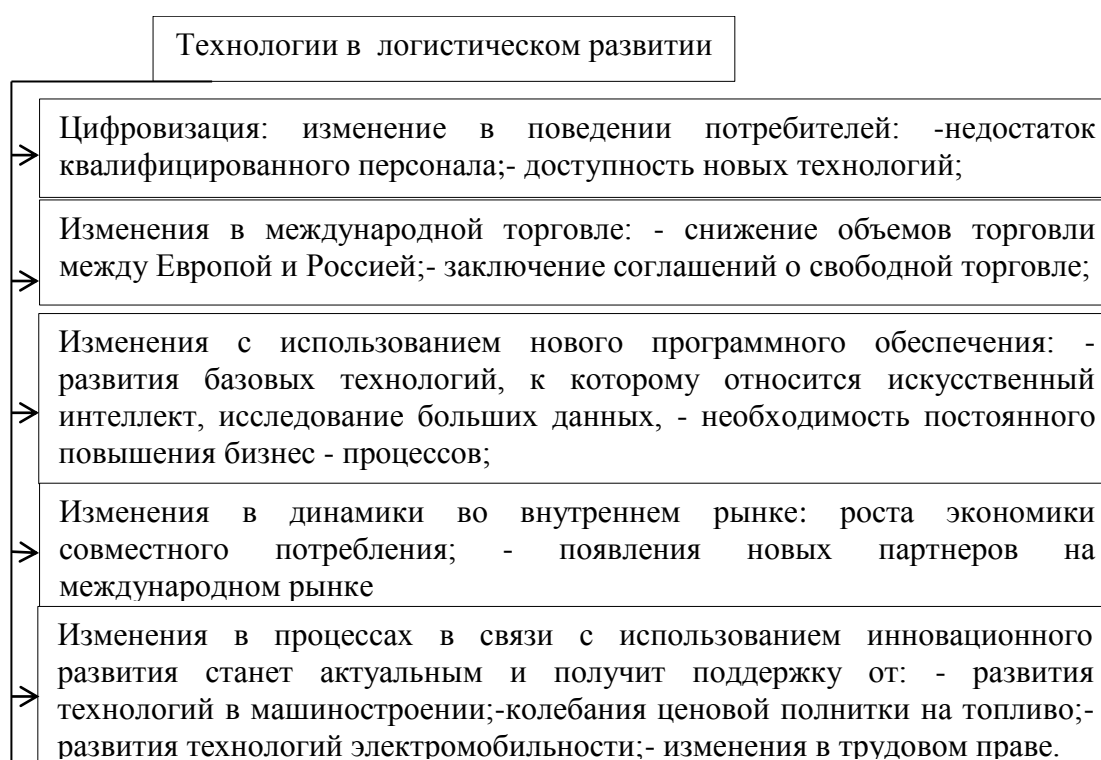


**Рис. 2.** Технологии в логистическом бизнесе

Инвестирование технологий в логистическом бизнесе за 2023 год превысил 2,7 трлн. руб. На основании оценки Эксперт Ра представленная сумма внушительная, поскольку государственная система нацелена на развитие собственного производственного сектора и разработки новых логистических потоков в направлении Востока [3].

На рис. 3 видно, что инвестиционные потоки за последние года выросла с 1 до 2,8 трлн. руб.

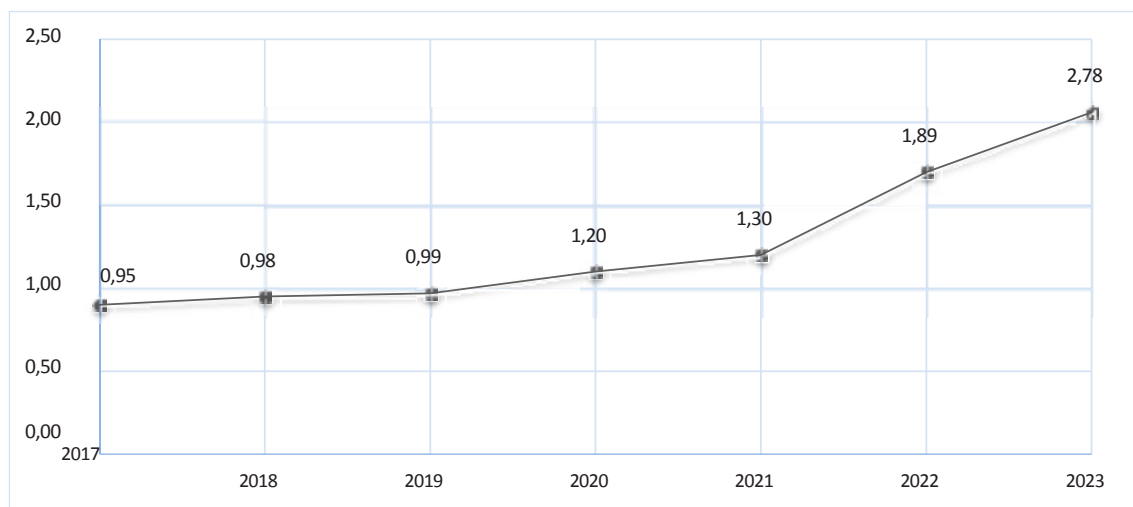


**Рис. 3.** Инвестиционная активность в логистической системе [4, с. 31]

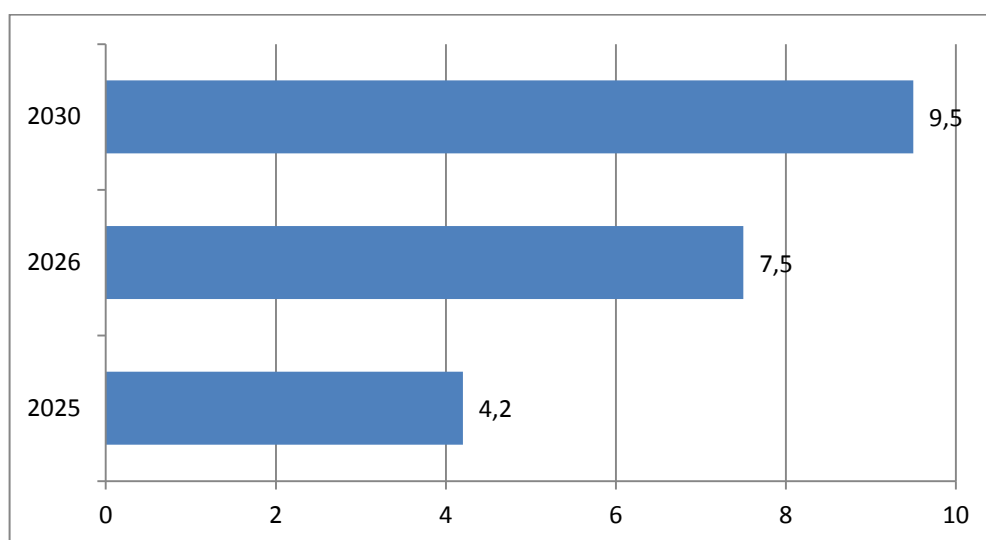


**Рис. 4.** Прогнозирование объемов на внутреннем рынке логистических услуг до 2030 периода, трлн. руб. [3]

В связи со всем представленным следует рассмотреть прогнозирование объемов логистических услуг, которые есть на рис. 4. Из имеющегося рисунка прослеживается активная инвестиционная политика грузо-владельцев и перевозчиков в новые технологии логистической системы вместе с НИОКР. При этом к 2030 годовому периоду объем инвестиций на внутреннем рынке вырастит 9,5 трлн. руб.

В качестве рекомендаций для логистических компаний будет являться применение уникальной логистической бизнес-модели с высокой экономической эффективностью.

Представленная на рис. 5 модель содержит технологию по шифрованию блокчейн, с отображением всей цепочки по работе с потребителями услуг до отгрузки на складской комплекс груза.

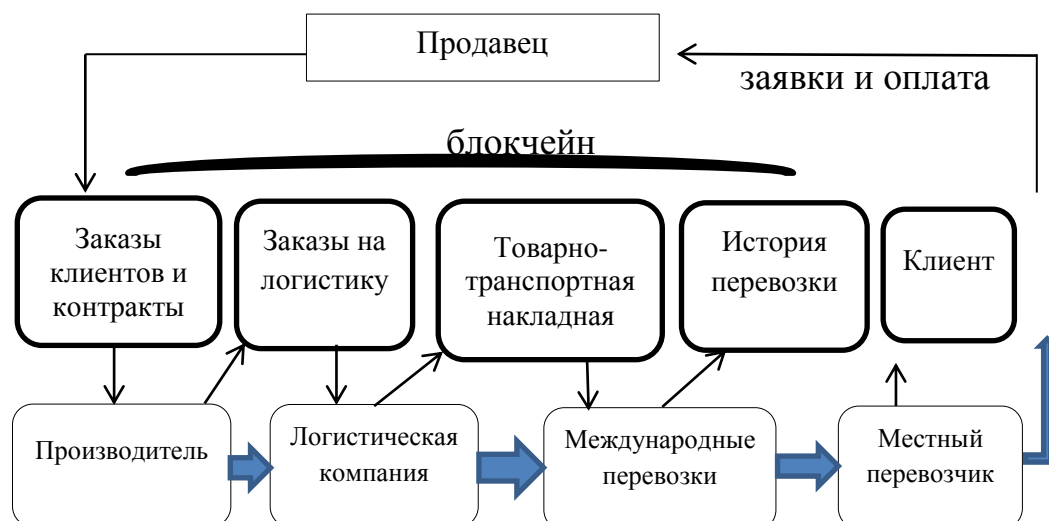


**Рис. 5.** Новая технология по шифрованию блокчейн для логистической цепи [2]

Благодаря блокчейну будет повышаться операционные услуги, с перемещением грузопотоков с прозрачной документацией. В свою очередь, представленная технология в логистике по максимуму сможет обезопасить данные и предотвращая несанкционированный доступ со стороны мошенников.

На основании всего предложенного следует подвести итоги. Применение современных технологий будут помогать расти рентабельности логистического бизнеса в транспортной системе.

Технологическое развитие в логистике эффективно не в логистических компаниях, но рыночной экономике в целом. Все это способствует усилению конкурентных позиций на международном рынке логистических услуг с передовыми инновационными технологиями.

#### *Библиографический список*

1. Доможирова, А. Д. Повышение стабильности курсирования кольцевых маршрутных поездов / А. Д. Доможирова, Р. Ю. Упырь. – Текст : непосредственный // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 1 (11). – С. 183–186.

2. Лобанова, А. А. Технологии будущего в складской и транспортной логистике / А. А. Лобанова, В. А. Васильева. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 34 (429). – С. 14–19.

3. Эксперт РА : официальный сайт. – URL : <https://emcr.io/reports/585> (дата обращения: 06.10.2024). – Текст : электронный.

4. Царегородцева, Е. Ю. Новые направления в развитии логистической деятельности в современных условиях / Е. Ю. Царегородцева. – Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2024. – № 4. – С. 29–37.

**А. В. Эрлих, И. С. Пыльцын**

*Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)),  
г. Москва, Россия*

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК В РОССИИ**

*В статье рассматривается состояние, проблемы и развитие рынка контейнерных перевозок в Российской Федерации. Направление данного вида перевозок – одно из самых быстрорастущих не только в России, но и в мире, однако уход крупных компаний с рынка оказал значительное влияние на экономическую составляющую данной отрасли и объём перевозок. В проведённом исследовании акцентируется внимание на актуальность указанного вида логистики, развитие указанной области и необходимые меры для поддержания необходимого грузооборота.*

*Ключевые слова: контейнер, экспорт, импорт, вагон, перевозка, транспортировка, грузы, транспорт, контейнерные перевозки.*

Контейнерные перевозки позволяют выполнять доставку груза от отправителя к получателю без дополнительных погрузочно-разгрузочных работ.

Несмотря на ухудшение современной ситуации в сфере развития контейнерных перевозок, сложившейся из-за роста стоимости сырья, иностранных санкций и невозможности использования части морских портов, в России данное направление постоянно развивается. По статистическим данным, в 2024 году объём данного вида перевозок вырос по импорту на 4 %, а по экспорту на 9 %. Динамика роста объёма контейнерных перевозок в 2023 году, а также перспективы развития к 2035 году представлены на Рисунке [1].

Проанализировав Рисунок, видно, что объём внутренних контейнерных перевозок в значительной мере меньше, чем импорт и экспорт, что связано с нехваткой перегрузочных мощностей на современных железных дорогах, а также с дефицитом логистических центров.

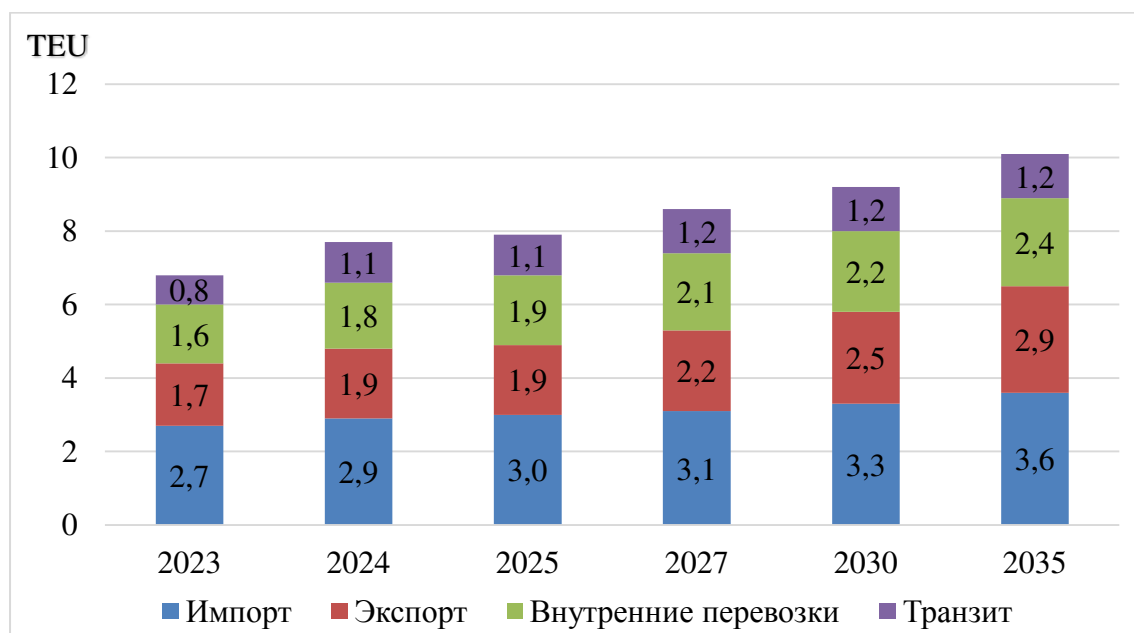


**Рисунок.** Динамика роста объема контейнерных перевозок

Проблемой нехватки перегрузочных мощностей на железных дорогах является малое количество складских помещений, а также низкий уровень развитости инфраструктуры. Основными задачами логистических центров является контроль движения товара, координация транспортного и складского обслуживания. Они должны иметь развитую инфраструктуру со складскими терминалами, специальную технику и офисные помещения. [2]

Рынок контейнерных перевозок ежегодно будет расти в среднем на 3,4 %, в 2035 году значение TEU достигнет 10,1 млн.

Ключевым фактором роста объема контейнерных перевозок будет экспорт, на который повлияет развитие российских морских линий, роста объема торговли с южными странами (Латинская Америка, Африка и Азия).

Несмотря на активный рост объема экспорта, основной составляющей контейнерных перевозок будет являться импорт. Динамика импорта, исходя из Рисунка, составит лишь 2,4 % в год, на что будут активно влиять следующие факторы:

- медленный рост покупательной способности;
- снижение численности населения;
- ограничения внешнеторговых операций;
- замедление экономики;
- развитие импортозамещения.



В настоящее время внешние контейнерные перевозки подвергаются многочисленным ограничениям на фоне санкций иностранных государств. В связи с мультимодальностью контейнерных перевозок (морские, железнодорожные и автомобильные) открыты регулярные маршруты, к примеру, из порта Новороссийск в Израиль, Турцию и Египет [3]. Для роста объема внешних контейнерных перевозок необходимо использование новых логистических подходов, таких, как разработка новых маршрутных направлений и развитием транспортных коридоров.

Основной проблемой как внутренних, так и внешних перевозок является переполнение контейнерных грузов в портах и инфраструктурные ограничения, что влечет за собой задержку выгрузки контейнеров и негативно сказывается на скорости их транспортировки. К проблемам также стоит отнести неэффективное взаимодействие железнодорожных компаний и подрядных организаций внутри страны, коммуникация международных административно-управленческих органов между странами [4].

С 2022 г. существенно вырос экспорт удобрений при помощи контейнерных перевозок. Имеется необходимость в развитии аналогичных направлений контейнеризации с целью увеличения объемов экспорта. Для этого требуется заключение контрактов на оптовую поставку сырья и материалов, налаживание отношений с дружественными странами, а также стабилизация экономики Российской Федерации.

Перспективами развития контейнерных перевозок являются:

**1. Цифровизация.** В современных реалиях развитие информационных технологий, увеличение IT-специалистов влечёт за собой скорое развитие электронной коммерции (E-commerce), онлайн-логистики и систематизации информации в электронных базах данных, что позволит в должной мере оптимизировать процессы перевозок [5]. Развитие и использование электронного документооборота и цифровых электронных подписей влечет за собой ускоренное заключение договоров между организациями, поставку необходимого грузоподъемного оборудования и материалов. [6]

**2. Изменение грузопотоков.** Перераспределение мировых экономических ресурсов между странами, изменение рынка потребления, рост таможенных союзов, а также развитие мировой инфраструктуры благоприятно сказывается на развитии не только мировой отрасли контейнерных перевозок, но и России.

**3. Развитие транспортировочных средств.** Одним из целевых показателей увеличения объемов контейнерных перевозок является развитие отрасли железнодорожного транспорта. Основная масса перевозимых грузов при помощи контейнеров сосредоточена на использовании железнодорожных платформ. Данная отрасль, наряду с развитием ин-

формационных технологий, постоянно развивается. Локомотивы и платформы постоянно совершенствуются, увеличивается средняя скорость движения, развивается путевая инфраструктура – все это влечет за собой скорое увеличение доли перевозимых грузов с помощью контейнеров. В настоящее время необходимо задуматься о привлечении высокодоходных грузов на железную дорогу. Актуальность исследуемого вопроса подтверждается еще и тем, что, несмотря на отрицательную динамику погрузки в результате последствий охлаждения экономической активности на фоне растущих процентных ставок, сокращение объемов некоторых типов грузов (уголь, черные металлы, стройматериалы), уровень контейнеризации грузов стабильно повышается. [5]

**4. Создание новых соглашений между морскими перевозчиками.** Для стабилизации и дальнейшего развития рынка контейнерных перевозок необходимо создание новых соглашений между крупными морскими перевозчиками, что позволит увеличить количество свободных мест на морских судах, развивать географию перевозок и сокращать затраты на сервисную работу [7]. Крайне необходимо заключение новых таможенных союзов между странами, что облегчит импорт и экспорт товаров, а также сократит затраты на перевозку грузов.

Немаловажную роль играют ускоренные контейнерные поезда. Их преимуществом является то, что они не находятся на узловых станциях под сортировкой в ожидании распределения в нужное направление. По сравнению с повагонными отправками – это существенно снижает время отправления, при этом стоимость доставки идентична обычным отправкам. Однако ускоренные контейнерные поезда работают в более загруженных направлениях. С целью оптимизации загруженности направлений для ускоренных контейнерных поездов составляется расписание, что оптимизирует транзитное время. [8]

Таким образом, рассмотрев перспективы развития контейнерных перевозок, наиболее важными составляющими являются:

- модернизация железнодорожного транспорта;
- цифровизация процесса перевозок и заключения договоров;
- изменение грузопотоков.

Наряду с прочими составляющими, а также нарастающему научно-техническому прогрессу, доля контейнерных перевозок в дальнейшем будет только расти. В настоящее время для всех видов транспортных предприятий совершенствование контейнерных перевозок остается актуальным. Системная реализация всех рассмотренных процессов позволит развить Российский рынок транспортировки грузов с помощью контейнеров, что, в свою очередь, окажет положительное влияние на экономическое развитие страны в целом.

Россия является перспективной страной для интенсивного развития контейнерных перевозок, однако необходимо оптимизировать процессы транспортировки грузов. Для этого, наряду с вышеизложенным, требуется пересмотр Таможенного кодекса и ряда законов, регламентирующих отношения в транспортной сфере, а также разработка советующего законодательства.

*Библиографический список*

1. Ведомости. Перевозки контейнеров в России вырастут в 1,5 раза к 2035 году. – URL : <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2024/10/14/1068407-perevozki-konteinerov-v-rossii-virastut?ysclid=m2ta9qkf73376975252>. – Текст : электронный.
2. Алпеева, О. Г. Современное состояние и проблемы развития контейнерных перевозок в России / О. Г. Алпеева, А. Е. Розбах. – Текст : непосредственный // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Том 4, № 5-3(25-3). – С. 182–185.
3. Гашкова, Л. В. Современное состояние рынка международных контейнерных перевозок в России / Л. В. Гашкова, О. Ю. Морозова. – Текст : непосредственный // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 9-1. – С. 53–61.
4. Боженко, С. А. Анализ и перспективы развития контейнерных перевозок в РФ в современных условиях / С. А. Боженко, У. А. Новожилова. – Текст : непосредственный // Вестник науки. – 2023. – Том 3, № 7 (64). – С. 8–13.
5. Ховина, К. В. Основные направления развития отрасли контейнерных перевозок к 2050 году / К. В. Ховина. – Текст : непосредственный // Вестник науки. – 2022. – Том 3, № 1 (46). – С. 100–105.
6. Эрлих, Н. В. Цифровизация в сфере грузовых перевозок / Н. В. Эрлих, А. В. Эрлих. – Текст : непосредственный // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : сборник трудов научно-практической конференции с международным участием. – Москва, 2022. – С. 451–455.
7. Чеченова, Л. М. Перспективы развития контейнерных грузоперевозок в системе цепей поставок / Л. М. Чеченова. – Текст : непосредственный // Бюллетень результатов научных исследований. – 2022. – № 1. – С. 140–151.
8. Иванова, Е. В. Контейнерные перевозки в условиях Российской Федерации / Е. В. Иванова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 5 (347). – С. 313–314.

*Научное издание*

**ОБРАЗОВАНИЕ – НАУКА – ПРОИЗВОДСТВО**

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

(г. Чита, 22 ноября 2024 г.)

Том 1

Статьи печатаются в авторской редакции

Компьютерная вёрстка  
*И. А. Нерадовская*

Подписано в печать 27.12.2024 г. Печать офсетная. Бумага тип. № 2.  
Формат 60х84/16. Печ. л. 23,48. Тираж 100 экз.

\*\*\*

672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ